

**SINTESIS YTTRIA STABIL ZIRKONIA (YSZ) DARI PASIR
ZIRKON KALIMANTAN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains
(S. Si) pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta



Diajukan oleh:

O'ZAGGA RIO GUMELAR YAN SATHIEM

No Mhs: 16612006

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2023

**SINTESIS YTTRIA STABIL ZIRKONIA (YSZ) DARI PASIR
ZIRKON KALIMANTAN**

SKRIPSI

yang diajukan oleh :

O'ZAGGA RIO GUMELAR YAN SATHIEM

No Mhs : 16612006

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Tanggal : 11 April 2023

Dewan Penguji

1. Prof.peneliti. Dr.rer.nat. Ir. Agus Taftazani
2. Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D.
3. Nurcahyo Imam Prakoso, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : O`zagga Rio Gumelar Yan Sathiem

NIM : 16612006

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan Sintesis Yttria Stabil Zirkonia (YSZ) dari Pasir Zircon Kalimantan asli karya saya kecuali jika terdapat duplikat, plagiat, dan tiruan, sebagai acuan telah mengikuti peraturan penulisan karya ilmiah dalam Skripsi. Apabila ditemukan pelanggaran dalam penulisan skripsi atau dapat dibuktikan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini maka saya bersedia menerima resiko dan sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sungguh-sungguh dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 11 April 2023

Yang menyatakan

METERAI TEMPEL
4BEAKX125833031

O`zagga Rio Gumelar Yan Sathiem

(16612006)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan hidayah, berkah dan inayah-Nya. Tidak lupa sholawat serta salam penulis panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si.) dengan judul **“SINTESIS YTTRIA STABIL ZIRKONIA (YSZ) DARI PASIR ZIRKON KALIMANTAN ”**

Selama penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa saran, kritik, bimbingan maupun masukan lainnya. Maka dengan itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW beserta sahabat-sahabatnya.
2. Prof. Fathul Wahid, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
3. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia beserta jajarannya.
4. Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si., M.Si. selaku Kepala Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia beserta jajarannya.
5. Gani Purwiandono, S.Si, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia beserta dosen lainnya.
6. Prof.peneliti. Dr.rer.nat. Ir. Agus Taftazani selaku pembimbing 1 yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan

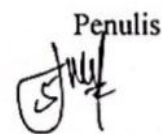
penulis dengan penuh kesabaran selama melakukan perencanaan penelitian dan penulisan Skripsi.

7. Dra. Susanna Tuning Sunanti, M.T. selaku pembimbing 2 yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran selama melakukan perencanaan penelitian dan penulisan Skripsi.
8. Sajiman, S.S.T. selaku pembimbing lapangan yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan meluangkan waktunya selama melakukan penelitian dan penulisan skripsi.
9. Kedua orang tua Bapak Suharso, Ibu Mulyani dan juga Kakak tersayang O`nille Aprisony Sathiem atas doa, kasih sayang, kepercayaan dan dukungannya.
10. Aprillia Eka Dwi Ana yang selalu mendoakan, memberi semangat dan menemani dalam proses penulisan.
11. Andri, Rendi, Ulul, Erdi, Ilham, Ridwan, Choerul, Fauzi, Avta, Rona, Sujatmiko, Yusti, Nurintan, Asmuni, Mba Diah, Rohim dan semua teman saya yang tidak pernah absen menemani penulis dalam berproses.
12. Semua pihak yang telah membantu sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang dapat membangun sangat diharapkan bagi penulis demi menyempurnakan Skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat bagi pembaca dan penulis.

Wassalamu'alaikum Wr, Wb

Yogyakarta, 11 April 2023

Penulis


O`zagga Rio Gumelar Yan Sathiem

(16612006)

DAFTAR ISI

SAMPUL JUDUL LUAR.....	i
SAMPUL JUDUL DALAM.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	Error! Bookmark not defined.i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABLE	ix
INTISARI.....	x
SINTESIS YTTRIA STABILIZED ZIRCONIUM (YSZ).....	xi
ABSTRAK.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1. Landasan Teori	4
BAB III DASAR TEORI.....	6
3.1. Pasir Zirkon.....	6
3.2. Alkali Fusion dalam Sintesis Zirkonia dari Zirkon.....	8
3.3. Proses Pelindian (<i>leaching</i>).....	10
3.4 Zirkonium Oksidklorid (ZOC)	11
3.5. Zirkonia.....	12
3.6. Yttria	12

3.7. Yttria Stabilized Zirconia (YSZ)	16
3.8. X – Ray Fluorencence (XRF).....	19
3.9. X-Ray Diffraction (XRD)	22
3.10. Spektrofotometer Inframerah (FTIR).....	25
3.11. LCR Meter	25
BAB IV METODE PENELITIAN	29
4.1. Alat.....	29
4.2. Bahan.....	29
4.3. Cara kerja.....	29
4.3.1. Kalsinasi.....	30
4.3.2. Pelindian.....	31
4.3.3. Pelindian dengan Asam Klorida.....	31
4.3.4. Kalsinasi.....	31
4.3.5. Yttria Stabilized Zirconia.....	32
4.4. Skema penelitian.....	33
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	36
5.1. Zirkon.....	36
5.2. Sintesis Zirkon.....	36
5.2.1. Kalsinasi.....	38
5.2.2. Pelindian.....	39
5.2.3. Filtrasi	39
5.2.4. Kristalisasi.....	40
5.3. Yttria Stabilized Zirkonia.....	44
5.4. Karakterisasi zirkonia	49
5.4.1. X-Ray Fluorescence (XRF)	49
5.4.2. Variasi sampel	53
5.4.3. Spectroscopy FTIR	55

5.4.4.	X-Ray Diffraction (XRD)	57
5.4.5.	LCR Meter	61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
6.1.	Kesimpulan.....	63
6.2.	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		74
Lampiran 1.	Undang-undang Dasar	74
Lampiran 2.	Perhitungan	74
Lampiran 3.	Analisis Instrumen XRF	75
Lampiran 4.	Analisis Instrumen FTIR.....	102
Lampiran 5.	Analisis Instrumen XRD.....	104
Lampiran 6.	Analisis Instrumen LCR Meter	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Aplikasi Zirkon Dalam Industri.....	1
Gambar 2. Transformasi Fasa Struktur Zirkonia (Shakelford, 2008).....	15
Gambar 3. Struktur Kristal ZrO_2 (a) Monoklinik (b) Tetragonal (c) Kubik.....	16
Gambar 4. X- Ray Fluorescence	19
Gambar 5. Perpindahan Elektron	20
Gambar 6. Difraksi Sinar X.....	23
Gambar 7. Diagram Alat X-ray Diffraction	23
Gambar 8. Prinsip Kerja FTIR.....	25
Gambar 9. LCR Meter.....	27
Gambar 10. Kalsinasi Pasir Zirkon Ditambahkan NaOH	38
Gambar 11. Proses Pelindian.....	39
Gambar 12. Filtrasi.....	39
Gambar 13. Pelindian Frit Ditambahkan Dengan HCl.....	41
Gambar 14. Penyaringan (ZOC)	41
Gambar 15. ZOC Ditambahkan NH_4OH Dan Distirer Selama 24 Jam	42
Gambar 16. Kalsinasi Dengan Variasi Suhu Dan Waktu	43
Gambar 17. ZrO_2	43
Gambar 18. Metode Broth.....	46
Gambar 19. Penggerusan ZrO_2 Dicampurkan Dengan Y203	47
Gambar 20. Dikalsinasi Pada Suhu 500'C	47
Gambar 21. Kompaksi Pada Tekanan 14.600 psi	48
Gambar 22. Hasil Zirkon MERCK dan Zirkon.....	53
Gambar 23. Spektra FTIR Sintesis Zirkon, Zirkon Batan dan Zirkon Merck	55
Gambar 24. Spektra FTIR sintesis Zirkon, Zirkon Batan dan Zirkon Merck	56
Gambar 25. XRD Hasil Sintesis.....	58
Gambar 26. XRD Hasil Sintesis Batan dan Merck	58
Gambar 27. Difraktogram XRD JCPDS m- ZrO_2 , t- ZrO_2 , dan c- ZrO_2	59
Gambar 28. Pola Difraksi Zirkonia dan YSZ	61

DAFTAR TABLE

Table 1. Transformasi Fasa Struktur Zirkonia	8
Table 2. Variasi Sample ZrO_2 dengan Y_2O_3	46
Table 3. Data XRF Pasir Zirkon.....	49
Table 4. Data XRF Zirkonia Sintesis	51
Table 5. Data XRF Zirkonia MERCH	51
Table 6. Data Zirkonia Batan	51
Table 7. Data XRD variasi waktu pada suhu $1000^\circ C$	54
Table 8. Data XRD variasi Suhu pada Waktu 2 Jam	54
Table 9. Analisis LCR Meter pada YSZ Sintesis.....	62
Table 10. Analisis LCR Meter pada YSZ MERCK	62

SINTESIS YTTRIA STABIL ZIRKONIA (YSZ) DARI PASIR ZIRKON KALIMANTAN

INTISARI

O`zagga Rio Gumelar Yan Sathiem
16612006

Pada penelitian ini telah disintesis zirkonia dari pasir alam zirkon yang berasal dari Kalimantan, dengan menggunakan metode *alkali fusion*. Pasir zircon dan NaOH teknis dicampurkan lalu dikoposisi suhu tinggi, dilindi dengan aquadest, leaching dengan HCl, kopresipitasi dengan NH₄OH, dan kalsinasi. Perbandingan antara pasir zirkon dan basa adalah 1:4. *Alkali fusion* dilakukan pada variasi suhu kalsinasi masing-masing 600, 700, 800, 900 dan 1000°C dengan waktu penahanan selama 2, 3, 4, 5 dan 6 jam. Kemudian dilakukan analisis instrument XRF hasil zirkonium analisis 78.609%. Analisis instrument FTIR didapatkan serapan direntang panjang gelombang 500-800 cm⁻¹ hal itu menandakan terdapat vibrasi bonding dari Zr-O. Instrument XRD didapatkan hasil berupa bentuk kristal dari zirkonium MERCK yaitu monoklinik dan pada hasil analisis didapatkan bentuk kristal tetragonal. Pembuatan YSZ (Ytria Stabil Zirkonia) menggunakan metode reaksi padatan dengan dilakukan proses penggerusan. Pembuatan YSZ dilakukan dengan mencampurkan serbuk yttria dan zirconia dengan perbandingan Y₂O₃ dan ZrO₂ (6,2:1) mol, dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam, digerus selama 5 jam dan kemudian dikompaksi pada 4000 psi dan sintering pada suhu 1300°C selama 3 jam. Kemudian dikalsinasi kembali pada suhu 500°C selama 3 jam, dikompaksi pada 14.600 psi dan sintering pada suhu 1400°C selama 3 jam. Dilakukan analisis instrumen LCR meter dan didapatkan hasil analisis terbentuknya YSZ pada bahan hasil sintesis, hal ini ditunjukkan dengan naiknya nilai konduktivitas ionik yang diperoleh nilai ini meningkat dengan peningkatan komposisi yttria sesuai dengan karakteristik ionik padatan.

Kata Kunci: Zirkonium, Fusi Kuastik, Solid State Reaction, Zirkon, YSZ

SYNTHESIS OF YTTRIA STABILIZED ZIRCONIUM (YSZ) FROM KALIMANTAN ZIRCON SAND

ABSTRACT

O`zagga Rio Gumelar Yan Sathiem
16612006

In this research, zirconia has been synthesized from natural zircon sand originating from Kalimantan, using the alkaline fusion method. Zircon sand and technical NaOH are mixed and then composited at high temperature, leaching with aquadest, leaching with HCl, coprecipitation with NH₄OH, and calcination. The ratio between zircon sand and alkaline is 1:4. Alkali fusion was carried out at various calcination temperatures of 600, 700, 800, 900 and 1000°C with holding times of 2, 3, 4, 5 and 6 hours, respectively. Then an analysis of the XRF instrument results of zirconium analysis of 78.609%. Analysis of the FTIR instrument found absorption in the wavelength range of 500-800 cm⁻¹, indicating that there is a bonding vibration of Zr-O. The XRD instrument obtained results in the form of a crystal form of MERCK zirconium which is monoclinic and the results of the analysis obtained a tetragonal crystal form. The manufacture of YSZ (Yttria Stable Zirconia) uses the solid state reaction method with a grinding process. YSZ was prepared by mixing yttria and zirconia powders with a ratio of Y₂O₃ and ZrO₂ (6.2:1) mol, calcined at 500°C for 3 hours, crushed for 5 hours and then compacted at 4000 psi and sintered at 1300°C for 3 hours. Then it was calcined again at 500°C for 3 hours, compacted at 14,600 psi and sintered at 1400°C for 3 hours. An analysis of the LCR meter instrument was carried out and the analysis results obtained for the formation of YSZ in the synthesized material, this is indicated by an increase in the ionic conductivity value obtained. This value increases with an increase in the yttria composition according to the ionic characteristics of the solid.

Keywords: Zirconium, Quastic Fusion, Solid State Reaction, Zircon, YSZ

BAB I

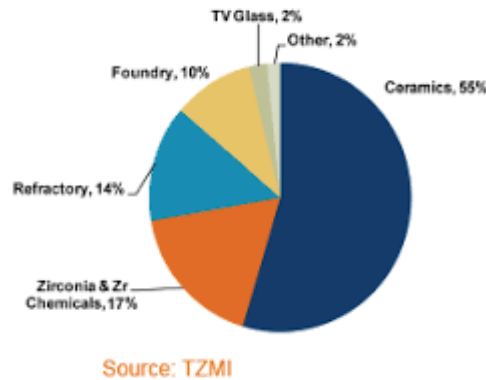
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan pemanfaatan sumber daya mineral Indonesia sebagai nilai tambah baru menjadi permulaan bahan objek aktual pengesahan pada 16 Desember 2008 UU Minerba oleh DPR-RI untuk menggantikan UU Pertambangan Umum yang telah usang atau tua, oleh karena itu dikoreksi dari segi nilai tambah bahan galian di Indonesia saat ini masih banyak potensi sumber daya bahan galian di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal (Senyan et al, 2013) Beberapa bahan galian telah ditemukan di daerah tertentu, untuk contoh di Bangka Belitung dan juga pulau Kalimantan (Muksin et al., 2014).

Di alam, zirkonium terdapat dalam bentuk silikat atau oksidanya. Dalam bentuk oksidanya, zirkonium terdapat dalam mineral baddeleyit, yang mengandung 80% ZrO_2 ; kompleks zirkon seperti zirkelit; yang mengandung 50% ZrO_2 ; uhligit yang mengandung 33% ZrO_2 dan wohlerit yang mengandung 15-23%; sedang zirkonium silikat yang utama adalah zirkon $ZrSiO_4$ yang mengandung 61-67% ZrO_2 (Hendriyati, 1988).

Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan produk zirkon di industri non-nuklir selama 20 tahun sejak tahun 1990 terus meningkat secara konsisten. Peranan zirkon terbagi menjadi enam kelompok besar, yaitu industri keramik, refraktori, paduan, kaca TV, bahan kimia zirkonia (Cameron, 2017).



Gambar 1. Aplikasi Zirkon dalam Industri

Zirkonium kini banyak digunakan pada pembuatan barang-barang inovatif berteknologi tinggi seperti keramik baru, katalis, baterai isi ulang, bahan yang ringan dan tahan suhu tinggi, sensor oksigen, *solid oxide fuel cell* (SOFC), *yttria stabilized zirconia* (YSZ), aplikasi kesehatan, perhiasan dan lain-lain, sehingga kini unsur Zr telah dipandang sebagai bahan unggul (Xi *et al.*, 2013).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses untuk mendapatkan Zirkonia dalam Pasir Zirkonia?
2. Bagaimana pengaruh suhu dan waktu kalsinasi pada proses sintesis Zirkonia?
3. Apa pengaruh Yttria dalam menstabilkan Zirkonia?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat melakukan pembuatan Zirkonia dari Pasir Zirkon
2. Mengetahui pengaruh suhu dan waktu kalsinasi pada Sintesis Zirkonia
3. Mengetahui pengaruh dari Zirkonia yang di stabilkan dengan Yttria

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini adalah dapat mengolah pasir zirkon menjadi produk zirkonia yang dapat di stabilkan yttria dan memiliki nilai

yang ekonomis. Mengetahui metode yang optimal dalam Sintesis Zirkonia dan pengaruh Yttria dalam penstabilan Zirkonia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Beberapa keunggulan mineral zirkon yang memiliki manfaat dalam industri nuklir dan industri aplikatif lainnya (Liu et al, 2014). Dalam industri dimana mineral zirconia diproduksi menjai zirkonia atau keramik tingkat lanjut karena dengan kekuatan, ketahan dan titik leleh yang sangat tinggi (2700°C) (Sajima dan Setyadji, 2015). Dimana bahan ini juga memiliki konduktivitas termal yang rendah, fleksibilitas yang tinggi, dan ketahanan korosi yang sangat baik sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan pembuatan sensor oksigen. Sensor oksigen digunakan untuk memantau konsentrasi oksigen dalam sistem nuklir berpendingin paduan timbal seperti LFR (*Lead alloy-cooled Fast Reactor*) dan target spalasi di ADS (Accelerator Driven System) (Gessi, 2008)

Proses peleburan menggunakan tungku peleburan dengan campuran pasir zirkon dan NaOH sebagai umpan, yang dipanaskan hingga suhu 750°C secara batch, dimana terjadi peningkatan suhu yang drastis sehingga diperoleh lelehan yang mengkristal. Dari hasil peleburan tersebut diperoleh padatan yang berkomposisi Na_2ZrO_3 dan Na_2SiO_3 yang siap dilakukan dengan memisahkan suatu komponen dari campuran padatan menggunakan pelarut tertentu. Proses ini banyak digunakan dalam industri metalurgi, yang digunakan untuk memisahkan mineral dari batuan. Dalam produk cair, silikat membentuk natrium silikat dan bentuk zirkonium dalam natrium zirkonat. Silikat berupa natrium silikat larut dalam air sedangkan natrium zirkonat tidak larut dalam air, sehingga senyawa silikat dapat diekstraksi dengan cara pelindian menggunakan air (Knodler, 1987).

Menurut Lustmen (1955), berbagai cara telah digunakan untuk memisahkan zirkon dari mineralnya. Hal ini cukup sulit, karena mineral zirkon pada umumnya sulit bereaksi, oleh karena itu pertama kali ikatan antara zirkon dan silikat harus diputus terlebih dahulu, kemudian keduanya dipisahkan. Pemisahan dilakukan dengan leaching menggunakan pelarut air untuk mengambil silikatnya.

BAB III

DASAR TEORI

3.1. Mineral Zirkon

Nilai tambah sumber daya alam mineral (SDA) untuk ditingkatkan telah menjadi kebutuhan sejak berlakunya Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara yang berlaku pada Januari 2014. Melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 8 Tahun 2015 Pasal 4 Ayat (2), pemegang izin usaha pertambangan timah wajib mengolah dan/atau memurnikan konsentrat pasir zirkon, ilmenite, rutile, monazite dan senotime. Selanjutnya, dalam Lampiran I Menteri ESDM, diatur jenis dan kadar minimal beberapa produk hasil pengolahan konsentrat zirkon, ilmenite, rutile, monazite, dan senotime menjadi bahan kimia zirkonium, zirkonia, Zrsponge, REO, REOH. , RE metal, dan beberapa produk titanium yang dihasilkan dari penambangan pasir zirkon dan pasir timah yang dapat diekspor atau diaplikasikan diberbagai bidang (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015).

Keberadaan mineral pasir zirkon di Indonesia kebanyakan bercampur dengan beberapa mineral berharga seperti monasit, senotim, dan ilmenit. Keberadaan zirkonium dalam pasir zirkon dan rare earth element (REE) di Indonesia tersebar di 13 daerah seperti Sekuleh (Aceh), Sibolga (Sumatera Utara), Bangkinang (Riau), Pegunungan Tiga puluh (Riau/Jambi), Bangka Belitung, Karimun Kundur (Kepulauan Riau), Bukit Garba (Sumatera Selatan), Way Seputih (Lampung), Sambas (Kalimantan Barat), Tumbang Titi (Kalimantan Barat), Sungai Bunut (Kalimantan Timur), Takalar (Sulawesi Selatan), Pegunungan Arfak (Papua Barat), dan Ransiki (Papua Barat) (Poernomo dkk, 2016).

Sumber daya pasir zirkon di Indonesia yang berlimpah sampai saat ini masih sangat rendah dalam pemanfaatannya. Tambang mineral zircon yang terbesar berada di Kepulauan Sumatra dan Kalimantan. Salah satu produksi pertambangan mineral zirkon terbesar dengan nilai produksi dan cadangan terbanyak berada pada Kalimantan terutama Kalimantan Tengah perkiraan mineral yang dapat diproduksi 5 triliun ton (Sudarto et al., 2008), sedangkan yang terukur di sekitar Kalimantan Tengah (DAS) sebanyak 6 jutaan ton lebih dan mengandung zirkonium silikat ($ZrSiO_4$) diperkirakan 2 jutaan ton (Herman, 2007).

Produksi mineral zircon yang berada di Kalimantan Tengah didapatkan pertambangan emas atau pertambangan mineral zirkon. Mineral zircon didapatkan dari industri ini cukup rendah dalam hasil produksi kemudian diekspor langsung tanpa pengolahan lanjut dan dijual harga murah. Pengeksporan langsung mineral zirkon tanpa pengolahan lanjut dinilai kurang optimal, dikarenakan mineral zirkon dapat diekplor lagi dengan manfaat lebih yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi atau pemanfaatannya seperti bahan kapasitor feroelektrik yaitu prekursor sintesis oksida logam perovskit (Mikrianto dkk, 2018).

Zirkonia pada umumnya di alam tidak dapat dimanfaatkan secara langsung terdapat campuran unsur pengotor atau unsur tidak diinginkan lainnya. Senyawa zirkonia yang tercampur dengan silica dalam bentuk pasir zirkon merupakan bentuk alami yang berada di alam (Poernomo, 2012).

Pasir zirkon memiliki kadar cadangan yang cukup rendah dan sebagai mineral yang tercampur dengan unsur lain tersebar luas di sepanjang pertambangan timah. Pada pulau Kalimantan yang berada di Selat Malaka mineral zirkon sebagai bahan yang tertinggal atau mineral sisa dari penambangan emas. Pasir zirkon memiliki manfaat peran penting dalam kaitannya industri nuklir dan industri lainnya (Zulfikar dan Herry, 2008).

Tabel. 1. Deposit mineral zircon di daerah aliran sungai (DAS) Kalimantan Tengah

Lokasi	Volume Endapan (m ³)	Jumlah Konsentrat (ton)	Kandungan ZrSiO ₄ (ton)
DAS Sekonyer	88.500.000	513.300	384.975
DAS Seruyan	11.820.000	68.556	44.561
DAS Mentaya	102.140.000	592.412	385.068
DAS Katingan	235.400.000	1.318.240	777.767
DAS Rungan	21.900.000	122.640	74.810
DAS Muroi	22.560.000	126.336	63.168
DAS Kapuas	35.800.000	200.480	100.240
Lain lain	103.292.000	516.460	258.230
Total	1.174.663.000	6.556.630	2.615.509

Tabel 1. Transformasi fasa struktur zirkonia (Shakelford, 2008)

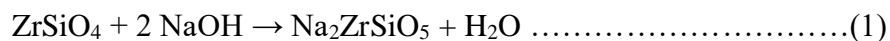
3.2. Sintesis Zirkonium Metode Alkali Fusion

Mineral zirkon merupakan unsur senyawa memiliki kestabilan yang tinggi ($\Delta G^{\circ}1400K = 1489,1 \text{ kJ/mol}$) (Abdelkader et al., 2008). Proses dalam sintesis zirkon sangat tidak mudah dikarenakan tingkat kestabilan yang tinggi baik kimiawi ataupun fisik. Mineral zirkon pada tekanan atmosfer akan terurai sebagai senyawa Zirkonia dan Silika hanya pada temperatur melebihi 1690°C , senyawa katalis sangat dibutuhkan menurunkan temperatur dekomposisinya. Metode yang dapat digunakan dalam pereaksian untuk menurunkan temperatur dekomposisi zirkonnya yaitu fusi alkali. Fusi alkali merupakan metode sintesis pasir zirkon dengan mereaksikan zirkon dan menggunakan basa yang memiliki rasio mol tertentu pada suhu tinggi.

Fusi alkali atau alkali fusion banyak digunakan pada sintesis zirkonia. Basa yang sering dipergunakan dalam metode ini adalah; Kalsium karbonat, natrium karbonat dan natrium hidroksida. Metode alkali fusi dalam sintesis senyawa zirkon sangat lah mudah, sederhana dan biaya oprasi yang terjangkau, karena tidak menggunakan peralatan dan bahan reaksi terjangkau (Dutra et al., 2012).

Metode peleburan alkali fusion pada mineral zirkon yaitu pelepasan ikatan senyawa silikat dengan zirkon. Senyawa silikat didalam pasir zirkon memiliki ikatan kimia sangat kuat sehingga tidak mudah untuk dilepaskan secara fisik atau larut menggunakan pelarut biasa (Sulistiyono dan Sajuti, 1996). Metode alkali fusi adalah metode sintesis efektif untuk mengekstraksi kandungan senyawa berharga dari mineral yang terikat pada silika. Ikatan kuat antara zirkonium dan silika dilepaskan senyawa memiliki sifat basa dari lelehannya. Zirkonium yang didapatkan akan memiliki kandungan dengan tingkat kemurnian tinggi dengan dilakukan proses pemisahan selanjutnya seperti leaching menggunakan air dan asam.

Senyawa zirkonia mudah terpisahkan dengan metode alkali fusi pada titik lelehnya yaitu silikat dan zirconia (Manhique, 2003). Basa yang digunakan dalam metode ini dan pengolahan temperatur tinggi, ikatan silikat terpisahkan dari mineral zirkon dan terlepas lalu mengikat basa. Pelepasan ikatan membuat senyawa 17 menjadi senyawa yang mudah larut. Metode fusi alkali dilakukan peleburan zirkon yang dicampurkan NaOH dengan pemansan temperatur 750°C atau lebih, maka terjadi reaksi berikut (Liu et al., 2014):



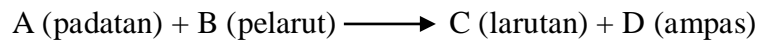
Hidroksilasi dan dehidrasi memainkan peranan penting dalam transformasi struktur senyawa SiO₂. Terjadi peleburan OH pada NaOH yang mengakibatkan pemutusan ikatan Si-O dan SiO₄ tetrahedral yang terjadi pada senyawa ZrSiO₄, dan terjadi proses hidroksilasi dimana pada hidroksil membentuk ikatan kimia dengan atom Si, pada Zr terjadi pelepasan ikatan dengan silika maka terjadi bentuk oksida. Metode alkali fusion terjadi proses hidroksilasi dan dehidrasi dimana zirkon dengan NaOH dengan terjadinya oksida, Zr yang terlepas berikatan dengan

OH mengalami reaksi dengan NaOH, terjadi proses dehidrasi dimana membentuk senyawa natrium zirkonat. Sedangkan silikat melepaskan OH pada proses tersebut dan membentuk senyawa natrium silikat karena berikatan dengan Na (Wang dkk, 2015).

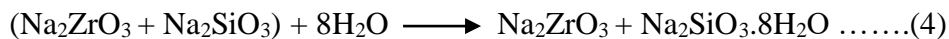
3.3. Proses Pelindian (*leaching*)

Pelindian merupakan padatan yang melepas dan pengambilan solutan dengan pelarut tertentu. Dua tahapan yang terjadi pada proses pelindian dimana perpindahan massa dari padatan ke larutan yang mengakibatkan larutan terpisah dari padatan pada proses tersebut (Liu et al., 2013).

Dilakukan baik secara *batch*, *semi batch*, dan kontinyu.



Mekanisme reaksi yang terjadi dari proses pelindian:



Proses pelindian dipengaruhi beberapa faktor yaitu:

1. Luas Permukaan, meningkatnya interaksi disebabkan oleh luas permukaan, dimana permukaan bahan semakin luas bahan akan menyebabkan meningkatnya interaksi yang terjadi dimana mempermudah perpindahan massa antara fasa padat dan fasa cair.
2. Kecepatan alir, naiknya frekuensi tumbukan antar molekul zat pereaksi terjadi karena kecepatan alir.
3. Waktu reaksi, tumbukan molekul reaktan semakin besar dikarenakan lama waktu reaksi, maka akan didapatkan hasil maksimal.
4. Kecepatan pengadukan temperatur dan waktu pelindian, putaran pengadukan sangat mempengaruhi laju pelarutan (Moch, 2015).

3.4. Zirkonium Oksidklorid (ZOC)

Zirkonium Oksidklorid adalah serbuk yang berwarna putih dan tidak berbau yang memiliki berat molekul 322,30 g/mol. Titik didih pada tekanan (760 torr) sebesar 210°C (410°F), mempunyai titik leleh 150°C (302°C) dengan tekanan uap pada suhu 20°C adalah 9 sampai 13 torr. Secara komersial ZOC dapat diperoleh dari peleburan pasir zirkon dengan soda kaustik (NaOH) pada suhu 750°C. Natrium zirkonat terhidrolisis dengan zirkonia hidrat, yang direaksikan dengan asam klorida panas. Zirkonium oksiklorid dapat dibuat dari larutan oksiklorid dengan cara kristalisasi. Zirkonium oksiklorid juga dapat diperoleh dari pelarutan zirkonium tetraklorida dalam air atau dengan mereaksikan zirkonium karbonat dengan asam klorida (Hikmah, 2012). Zirkonium oksiklorid sangat mudah larut, dapat dilarutkan dalam air dingin, alkohol, dan eter serta dapat terurai dalam air panas. Zirkonium oksiklorid (ZOC) berupa padatan akan benar-benar terurai menjadi kation stabil pada konsentrasi antara 0,01 sampai 0,1 M. Larutan zirkonil klorida mempunyai sifat fisik yang sama dengan asam klorida dengan molaritas yang sama. Kelarutan dan spesies zirkonium total larutan dapat lebih dikendalikan oleh penambahan asam klorida (Von, 1925).

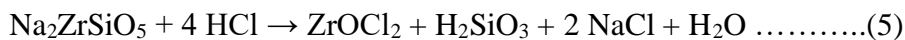
Zirkonium oksiklorid merupakan bahan dasar yang penting dalam produksi senyawa zirkonium lainnya pada bahan kimia. Zirkonium oksiklorid anhidrat dihasilkan oleh reaksi dari klorin oksida (fosgen) dengan suspensi zirkonium tetraklorida dalam karbon tetraklorida. Reaksi ini dimulai pada suhu 30°C. Senyawa ini sangat padat dan hidroskopis dan akan terurai menjadi zirkonia tetraklorida dan zirkonium pada suhu 250°C (Manhique, 2003).

Pada penambahan HCl, kelarutan menurun hal ini dikarenakan efek ion umum sampai minimum sebesar 8,5N HCl. Setelah mencapai minimum sedikit peningkatan dalam kelarutan saat dikaitkan dengan pembentukan kompleks zirkonium lainnya. Ketergantungan suhu kelarutan zirkonil klorida terkonsentrasi

pada 10,16 N HCl. Peran asam nonkompleks lebih dari kontrol kelarutan dari total zirkonium dalam larutan (Lister dan Donald, 1952).

3.5. Kopresipitasi

Sintesis zirconia terdapat peroses kopresipitasi dimana produk fusi basa dilakukan pelilindi dengan menggunakan air dan HCl maka didapatkan senyawa $ZrOCl_2$, lalu ditambahkan larutan NH_4OH . Pelindian yang dilakukan dalam proses ini mengakibatkan terpisahnya natrium zirkonat (Na_2ZrO_3), natrium metasilikat (Na_2SiO_3), dan natrium ortosilikat (Na_4SiO_4) terjadi saat fusi alkali, NaOH akan larut pada air dan Na_2ZrO_3 akan mengendap. Dilakukan pelindian dengan menggunakan HCl untuk memisahkan senyawa Na_2ZrSiO_5 , zirkonium dan silika. Maka terjadi reaksi berikut (Liu et al., 2014):

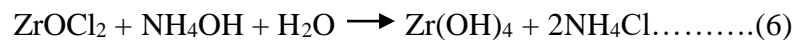


Proses kopresipitasi yaitu pengendapan lebih dari satu zat secara bersamaan ketika melewati titik jenuhnya, yang merupakan salah satu metode sintesis senyawa anorganik. Kopresipitasi adalah proses kimia yang dimana terjadi proses hidrosilasi dan dehidrasi pada alkali fusion zircon dengan ditambahkan basa (Wang et al., 2015) dengan mengurangi atau meminimalisir terkait difusi dan pengotor untuk mendapatkan produk yang diinginkan (Caffarena et al., 2006). Metode ini banyak digunakan dalam sintesis kimia dimana pada proses ini mudah dan tidak mahal dalam prosesnya disbanding dengan metode yang lain dengan temperature rendah dan ukuran partikel yang dapat disesuaikan atau dikontrol.

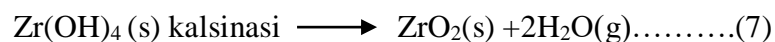
Zirkonium hidroksida dihasilkan dari proses kopresipitasi dengan terdapat kandungan air yang beragam baik dalam bentuk zirkonia hidroksida atau zirkonia hidrat yang merupakan struktur kompleks yang dienapkan (Huang et al., 2001). Dari hal tersebut menunjukkan bahwa Zr memiliki bilangan koordinasi yang lebih tinggi pada saat keadaan terhidrasi dari pada saat oksida tidak terhidrasi.

Larutan alkali atau amonia biasa digunakan untuk proses kopresipitasi dalam sintesis zirkonia. Pada proses filtrasi dan pengeringan dimana senyawa l amonia lebih dipilih karena lebih mudah dipisahkan dari gel (Kurapova dan Konakov, 2014). Dimana hasil tersebut menghasilkan gel amorf zirkonia hidroksida dari proses kopresipitasi. Metode kopresipitasi merupakan Analitis yang diterapkan untuk ion-ion dalam larutan dengan secara sederhana. Pada proses terbentuknya $Zr(OH)_4$, ion-ion Zr^{4+} yang didapat dari larutan $ZrOCl_2$ mengikat kandungan ion OH yang berasal dari larutan NH_4OH dalam konsentrasi yang cukup untuk melebihi kelarutan senyawa yang dihasilkan dan menghasilkan larutan jenuh. Endapan yang terjadi secara bertahap-tahap setelah terjadinya nukleasi dan pertumbuhan kristal.

Larutan $ZrOCl_2$ yang telah didapatkan, dan ammonia ditambahkan perlahan-lahan sehingga terjadi awan awan hingga menjadi putih sempurna diperoleh endapan zirkonium hidroksida, maka didapatkan reaksi sebagai berikut (Rana et al., 2007):



Terbentuk endapan gel zirkonium hidroksida ($Zr(OH)_4$) dengan pengotor klorin, lalu dilakukan pencucian menggunakan aquadest. Filtrasi dilakukan untuk memisahkan Gel dan kemudian dikeringkan dan dikalsinasi untuk memperoleh serbuk zirconia murni (Cardarelli, 2008):



3.6. Zirkonia

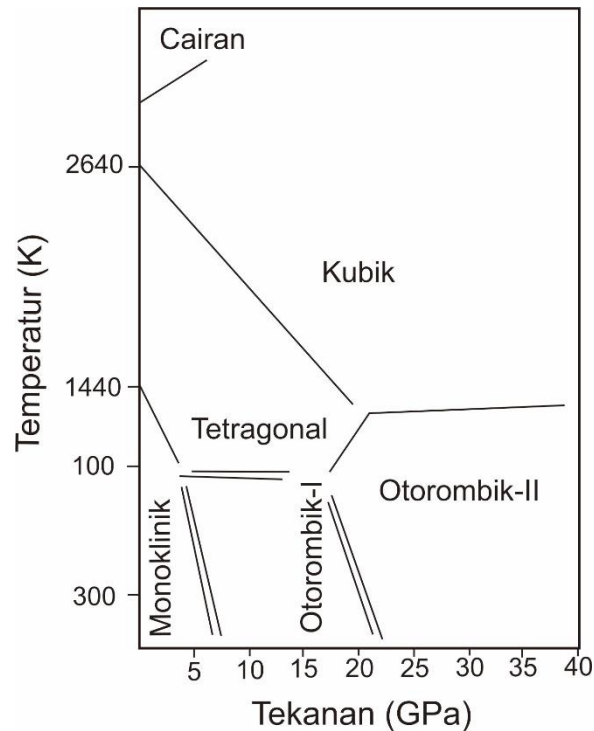
Zirkonium dioksida adalah bahan baku utama pada keramik yang penting karena titik lebur tinggi dan kekuatan tinggi. Terdapat beberapa keunggulan zirkonia yaitu memiliki konduktivitas ion oksigen, konduktivitas termal yang rendah, fleksibilitas yang tinggi, dan tahanan korosi (Rivai dan Takahashi, 2010). Zirkonia telah digunakan sebagai pompa oksigen, sensor oksigen, sel bahan bakar

(fuel cell), lapisan penghalang termal (thermal barrier coatings), dan aplikasi temperatur tinggi lainnya (Shackelford dan Doremus, 2008). Sifat-sifat khusus dan kemampuan zirkonia ini memiliki banyaknya manfaat.

Menurut Setyadji (2017), pada penelitiannya tentang pengaruh temperatur, waktu, dan aditif dalam pembuatan *zircon micronized*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi operasi proses tercapai pada temperatur pemanggangan 425 °C, waktu 25 menit dan komposisi bahan aditif sebanyak 4%. Pada kondisi proses tersebut diperoleh *zircon micronized* (2 µm) sebanyak 92,10% dengan lama penggilingan 10 menit.

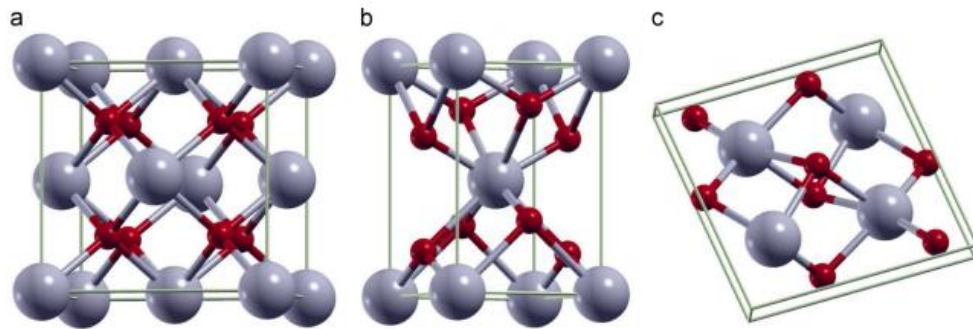
Zirkonia juga dapat digunakan sebagai solid oxide fuel cell karena memiliki potensi sebagai elektrolit padat dan elektroda. Zirkonia seperti Yttria Stabilized Zirconia (YSZ) dengan potensi elektrolit padat dan elektrodanya baik dimanfaatkan sebagai bahan solid oxide fuel cell (Rahmawati, (2012) dan Syarif et al., (2013)). Zirkonia murni pada temperatur ruangan memiliki struktur kristal monoklinik (m-ZrO₂) dan saat ditambahkan suhu hingga memanaskan pada temperatur 1461-1480K maka kristalnya akan berubah bentuknya menjadi tetragonal (t-ZrO₂), apabila dilakukan pendinginan hingga suhu ruangan maka akan menjadi monoklinik kembali (m-ZrO₂). Ditambahkan suhu pemanasan hingga temperature 2585 K (Gambar 2) maka terbentuk fasa kubik (c-ZrO₂). Zirkonia memiliki dua sifat yaitu isolator dan konduktor, dimana zirconia akan bersifat isolator saat suhu ruangan dan bersifat konduktor terjadi pada suhu tinggi. Temperatur 1000- 1100K Kristal monoklinik dan tetragonal akan bersifat tidak stabil, karena transformasi fasa saat penambahan temperature dinaikan dari fasa monoklinik menjadi tetragonal dan didinding kembali pada suhu ruangan atau reversible terjadi dapat mengakibatkan perubahan volume (3-5%). Perubahan volume yang terjadi mengakibatkan keretakan (micro crack), apabila keretakan yang terjadi makin membesar maka mengakibatkan kerusakan pada material. Fasa kristal kubik ZrO₂ (c-ZrO₂) merupakan fasa kristal yang paling stabil terhadap

perubahan temperature yang mengakibatkan volume berubah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada material (Maghfirah, 2007).



Gambar 2. Transformasi fasa struktur zirkonia (Shakelford, 2008)

Zirkonium oksida murni memiliki tiga jenis struktur kristal pada temperatur berbeda. Pada temperatur yang sangat tinggi ($>2370^{\circ}\text{C}$) mempunyai struktur Kristal kubus, temperatur sedang ($1170\text{-}2370^{\circ}\text{C}$) mempunyai struktur kristal tetragonal, dan temperatur rendah ($<1170^{\circ}\text{C}$) berubah bentuk menjadi struktur monoklinik (Senyan dkk., 2013). Berikut macam-macam bentuk kristal zircon:



Gambar 3. Struktur kristal ZrO₂ (a) Monoklinik (b) tetragonal (c) Kubik

3.7. Yttria

Yttrium oksida adalah bahan yang sangat tahan api ($T_f = 2410^\circ\text{C}$) yang memiliki stabilitas yang baik, resistivitas tinggi, kekuatan tembus tinggi dan pengembangan teknologi tinggi. Yttrium oksida atau Yttria (Y_2O_3) secara kimiawi dan structural sangat mirip dengan oksida lain dari unsur tanah jarang, dan dengan demikian termasuk dalam kelompok seskuioksida tanah jarang. Ini adalah bahan keramik yang sangat bermanfaat bagi industri dan teknologi. Yttria adalah kandidat ideal untuk bahan antar muka relative rendah; memakan waktu dan bahan yang luas, menjadikan hambatan dalam persiapan Wf/W komposit (Zhu dkk, 2011).

Yttrium oksida adalah bahan keramik yang sangat berguna secara industri dan teknologi di bawah beberapa sifatnya yang canggih: stabilitas termal dan kimia yang baik, kekuatan dan kekerasan mekanik yang tinggi (Zhu et al., 2011; Wang et al., 2009 dan Barve et al., 2011) Juga yttrium oksida memiliki aplikasi luas dalam penelitian nuklir karena aktivasinya yang rendah akibat iradiasi neutron (Forrest et al., 2009).

Yttrium oksida menunjukkan beberapa polimorfisme struktural: Ccubic ($Ia3$), B-monoclinic ($C2/m$), A-hexagonal ($P32m$) dan Hhexagonal ($P63/mmc$). Fase kubik stabil pada suhu kamar, yang berubah menjadi fase H-heksagonal

pada $\sim 2327^{\circ}\text{C}$ atau ke fase Bmonoklinik di ~ 10 GPa (Yan et al., 2011 dan Gaboriand et al., 2013). Oleh karena itu, di daerah suhu rendah ($< 2327^{\circ}\text{C}$), fasa kubik, sebagai fasa stabil, biasanya lebih disukai.

Logam tanah jarang berlimpah di pasir monasit dan senotime. Pasir tersebut merupakan hasil sampingan dari penambangan timah oleh PT. Timah memiliki nilai ekonomis dan dapat dimanfaatkan untuk memperoleh logam tanah jarang yang ada di dalamnya. Pada pasir senotim mengandung yttrium (Y) sebagai unsur terbanyak dengan yttrium (Y) $\pm 20\%$, gadolinium (Gd) $\pm 1,52\%$ dan untuk dyssporium (Dy) $\pm 3,34\%$. Total kandungan campuran unsur Logam Tanah Jarang pada pasir senotim antara 55% sampai 70% (Handini et al, 2017). Ketiga unsur ini merupakan unsur yang sering digunakan karena memiliki banyak kegunaan dalam industri dan teknologi, serta kandungannya dalam pasir lebih tinggi kadarnya dibandingkan unsur lainnya.

3.8. Ytria Stabilized Zirconia (YSZ)

Telah dirumuskan oleh U.S. DOE (Department of Energy) dan Generation IV International Forum (GIF) kandidat-kandidat reaktor-reaktor nuklir masa depan di dunia yang disebut reaktor Generation-IV (Gen-IV). Reaktor-reaktor Gen-IV ini didesain dengan tujuan utama yaitu kompetitif secara ekonomi, limbah radioaktif yang minimal, optimalisasi penggunaan bahan bakar yang efektif khususnya uranium alam, tingkat keselamatan yang tinggi termasuk keselamatan pasif (inherent safety) dan ketahanan akan proliferasi. Reaktor cepat pembiak berpendingin logam berat cair merupakan salah satu tipe reaktor masa depan di dunia yaitu LFR (Lead-alloy cooled Fast Reactor) (Rivai dan Takahashi, 2007). Salah satu kunci utama dalam penyiapan reaktor-reaktor ini adalah pengaturan konsentrasi oksigen di dalam logam berat tersebut (Rivai dan Takahashi, 2008). Hal ini untuk mencegah konsentrasi oksigen yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan terbentuknya oksida timbal yang dapat menyumbat celah-celah saluran dalam reaktor maupun untuk mencegah konsentrasi oksigen yang terlalu

rendah sehingga lapisan oksida pelindung serangan korosi di atas permukaan bahan kelongsong tidak dapat terbentuk. Oleh sebab itu diperlukan alat sensor oksigen di dalam teras reaktor yang memiliki keakuratan dan ketahanan mekanik yang tinggi.

Salah satu kandidat utama sensor oksigen untuk reaktor berpendingin logam berat LFR adalah sensor oksigen berbasis elektrolit padat Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ) (Rivai dan Takahashi, 2008). YSZ merupakan penambahan yttria oksida dengan oksida zirconium yang dapat menstabilkan zirconia dalam bentuk struktur kristal saat temperatur ruangan. YSZ ialah bahan dari keramik yang telah dikembangkan yang dapat menghantarkan ion oksigen dan digunakan sebagai Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) (Boaro et al., 2003 dan Motlagh et al., 2011). Penambahan yttria penstabilan zirkonia murni mengakibatkan Y^{3+} menggantikan sebagian Zr^{2+} yang berada pada ZrO_2 atau zirconia membuat oksigen yang terlepas karena yttria menggantikan empat ion O^{2-} akibatnya oksigen mengalami kekosongan karena tiga ion O^{2-} dari yttria yang terjadi pada zirkonia (Shakthinathan et al, 2012). Terjadi karena temperature tertentu menghasilkan energy bagi ion O^{2-} bergerak.

Material YSZ telah banyak dilakukan pengembangan metode sintesi yang baru kemudian dikategorikan sebagai metode kimia agar mendapatkan hasil yang lebih baik (Motlagh et al., 2011) dan juga pengembangan metode dalam bidang fisik (reaksi solid state) (Tonejc et al., 1999). Metode kimia terdapat keunggulan dibandingkan metode fisika yaitu zat yang disintesis memiliki homogenitas yang tinggi, namun metode fisika mengasilkan tingkat kemurnian yang tinggi dan dalam proses sintesisnya lebih mudah atau jauh relatif sederhana. Metodi fisika atau solid state reaction dalam sintesis material YSZ dapat dilakukan dengan cara konvensional yaitu mortar dan alu dalam pencampurannya untuk material menjadi homogeny. Sintesis YSZ dalam metode solid state reaction juga dapat dilakukan dengan teknik high energy ball milling secara proses integrasi. Hingga saat ini

teknik ini masih jarang dikembangkan di dunia dalam penelitian sintesis material YSZ.

3.9. X-Ray Fluorencence (XRF)

Spektrometri X-Ray Fluoresensi yaitu analisis analitik yang didasarkan pada pengukuran energi dan hasil eksitasi suatu sampel dari sumber radioisotope dengan intensitas sinar-X dari suatu unsur. Spektrometer XRF didasarkan terjadinya paparan sumber radiasi dan pengukuran intensitas cahaya sinar-X karakteristik suatu atom unsur dakam sample yang mengakibatkan electron pada atom mengalami pelepasan. Analisis ini tidak merusak material pada sampel baik secara fisik maupun kimiawi sehingga sampel dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

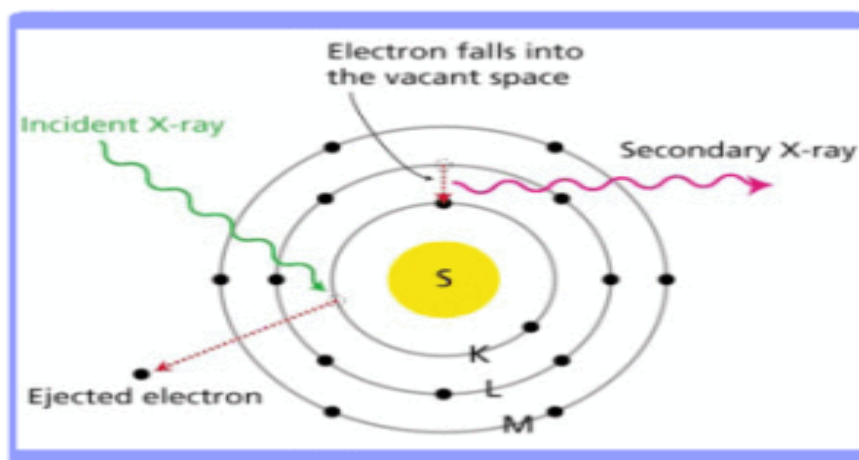


Gambar 4. X-Ray Fluorescence

Spektrometri X-Ray Fluorescence adalah alat analisis spektrometri yang digunakan menentukan kandungan atau komposisi kimia dan konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sampel. Analisis unsur dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif, dimana dalam analisis kualitatif untuk mengetahui kandungan kandungan jenis unsur yang terkandung dalam sampel dan sedangkan

analisis kuantitatif menganalisis konsentrasi unsur yang berada pada sampel (Malvern Instrument Limited, 2012).

Spektrometri X-Ray Fluorescence merupakan teknik analisis suatu unsur dalam suatu bahan atau senyawa berdasarkan interaksi sinar-X maupun bahan analit. Dimana pada analisis ini hanya dibutuhkan sampel yang relatif kecil (sekitar 1 g) banyak digunakan dalam analisis batuan. Analisis ini biasa digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang sangat melimpah di batuan atau mineral. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk giling atau dipres menjadi bentuk film yang banyak digunakan dengan menggunakan beberapa prinsip. panjang gelombang karakteristik untuk elemen (Jenkin, 1995)



Gambar 5. Perpindahan Elektron

Difraksi sinar-X dari berkas electron bagian dalam suatu atom dengan menggunakan sinar-X terjadi akibat tembakan berkas elektron didalam tabung sinar-X pada elemen di anoda untuk menghasilkan suatu sinar-X dengan panjang gelombang tertentu yang telah diketahui. Analisis XRF ini terjadi penembakan sinar-X dari tabung generator digunakan menghilangkan elektron dari kulit bagian terdalam untuk menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang tertentu yang diketahui dari sampel yang dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Pada saat

didalam tabung generator sinar-X, penembakkan sinar yang mengenai elektron dari kulit bagian terdalam atom dan menghilangkan elektronnya, kemudian pada sampel analit menghasilkan sinar-X dengan karakteristik panjang gelombang masing-masing atom dalam sampel. Karakteristik pada atom sampel memiliki karakteristik panjang gelombang yang sebanding dengan jumlah konsentrasi atom dalam sampel akibat intensitas sinar-X. Oleh sebab itu setiap unsur yang terkena intensitas sinar-X memiliki karakteristik panjang gelombang, sehingga konsentrasi yang berada pada sampel yang dianalisis intensitasnya dapat dibandingkan dengan standard dan dapat ditentukan hasil konsentrasi dari sampel (Jenkin, 1995).

Alat analisis Spektrometer Fluoresensi Sinar-X terdiri dari tabung generator sinar-X dimana dapat melepaskan elektron pada setiap elemen yang dianalisis. Energi dari tabung generator Sinar-X harus menghasilkan energi yang sangat tinggi, maka pada tabung generator memiliki target anoda seperti Cr, Mo, atau Au. Sinar koheren yang dihasilkan dari Sinar-X yang kemudian dilewatkan melalui kolimator.

Kelebihan dan Kekurangan Spektrometer Fluoresensi Sinar-X yaitu pada Keuntungannya hasil analisis memiliki akurasi tinggi, tidak memerlukan sampel standar dan dapat menentukan unsur-unsur dan kandungan mineral pada sampel dapat ditentukan secara langsung. Sedangkan pada kerugiannya adalah tidak bisa mengetahui unsur-unsur yang membentuk senyawa pada sampel yang dipelajari, tidak bisa menentukan materi yang tersusun dari struktur atom (Firdos, 2016).

Analisis menggunakan XRF lebih cepat, akurat, bahan tidak rusak, dibandingkan dengan analisis lain, dan juga digunakan pada sampel padat, bubuk, cair atau pasta (Sukirno, 2003).

Sumber radiasi sinar Sebagai sumber radiasi pada percobaan ini tidak menggunakan tabung sinar x, tetapi sumber radiasi sinar γ dari radioisotop Fe-55,

Am-241, Cd-109. Sinar γ yang dipancarkan dapat meradiasi sampel sehingga menghasilkan sinar x dengan energi spesifik dari setiap unsur yang terkandung dalam sampel (Taftazani, 2017).

3.10. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah analisis spektrometer memiliki prinsip penembakan sinar-X pada sampel dengan metode analitik yang dapat mengukur ukuran partikel dan menentukan parameter struktur kisi dalam mengidentifikasi kristal. Sinar-X adalah sinar radiasi elektromagnetik dengan energi yang dihasilkan sekitar 200 eV–1 MeV dengan panjang gelombang yang dihasilkannya dari energy tersebut yaitu 0,5–2,5 Å. Energi sinar-X yang dihasilkan memiliki panjang gelombang pada masing-masing material, pada setiap panjang gelombangnya hampir sama dengan jarak antar atom dalam kristal mengakibatkan sinar-X menjadi pilihan dalam teknik analisis suatu bahan material (Suryanarayana dan Norton, 1998). Sampel mengalami interaksi dengan sinar yang menghasilkan interferensi konstruktif dan cahaya difraksi yang memenuhi hukum Bragg yaitu:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

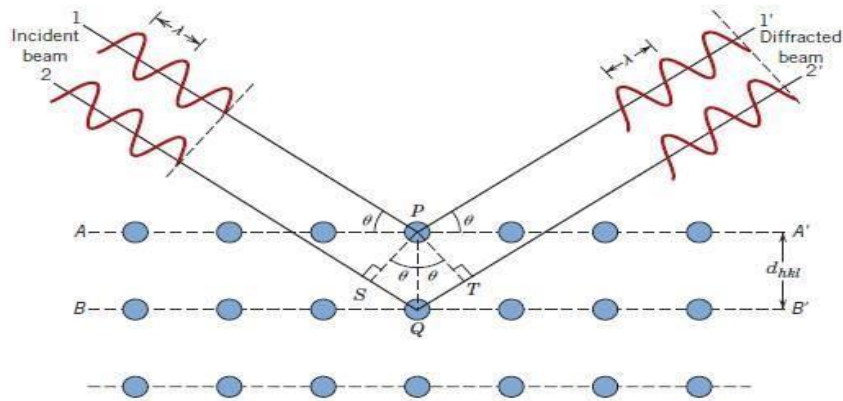
n : Orde Difraksi

λ : Panjang sinar-X

d : jarak kisi

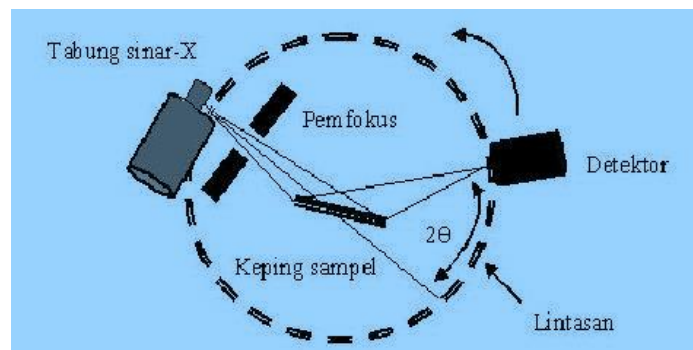
θ : sudut difraksi

Rumus pada hukum bragg dapat dijelaskan bahwa berhubungan dengan panjang gelombang radiasi elektromagnetik dengan sudut difraksi dan jarak kisi pada suatu material. Kristal mengalami difraksi dari sinar-X dengan membaca dari sudut datangnya suatu cahaya dan cahaya yang kemudian dibiaskan yang kemudian dideteksi, diproses, dan dapat dihitung (Taftazani, 2017).



Gambar 6. Difraksi Sinar X

Tiga elemen dasar yang terjadi pada difraktometer sinar-X yaitu sumber tabung sinar-X, pemegang sampel, dan detektor sinar-X (Taftazani, 2017). XRD dianalisis dengan pelat kaca yang diletakkan bubuk padat kristal yang memiliki jarak 10-7-10-14m maka didapatkan filament panas didalam ruang hampa yang mengeluarkan elektron dengan tegangan tinggi, kecepatan tinggi mengenai permukaan dan logam bias digunakan mejadi taget salah satunya tembaga (Cu). Kemudian sampel dikenai sinar-X dengan sudut 0 -90o.Cahaya yang mengenai sampel akan dibiaskan dan ditangkap oleh detektor. Oleh detektor sinar diubah menjadi hasil berupa gelombang (Difraktogram) (Rahman, 2016)



Gambar 7. Diagram Alat X-ray Diffraction

Bahan kristal yang belum diketahui pada sampel dapat di analisis menggunakan XRD dan dapat juga menentukan padatan yang belum diketahui

kandungannya. Analisis ini sangat penting untuk di pelajari dalam berbagai bidang ilmu, beberapa bidang ilmu yang dapat memanfaatkan ilmu analisis ini adalah bidang geologi, ilmu lingkungan, ilmu material, teknik dan biologi. Penggunaan analisis XRD ini dapat digunakan dalam karakterisasi bahan kristal, maupun mineral halus seperti lempung campur yang sulit diidentifikasi secara kasat mata atau optik, secara sentuhan yang penentuan dimensi sel satuan tidak dapat ditrntukan dan tingkat kemurnian sampel (Taftazani, 2017).

Difraktogram yang dihasilkan pada analisis XRD yang memiliki bentuk berupa analog, grafik garis yang dihasilkan atau pun terbaca direkam per menitnya yang mana sama dengan detector dengan sudut 2θ per menitnya, sehingga sumbu X ekivalen dengan sudut 2θ , dan hasilnya bersifat digital berupa intensitas sinar-X dengan jumlah intensitas cahaya per detik saat datang dan juga dibiaskan (Misnawati, 2006). Perubahan terjadi pada material kerystal semacam respon sebuah material saat mengalami deformasi, dilakukan dengan digambarkan arah pada dalam kerista, yaitu suatu vektor yang terjadi dapat disamakan denga persamaan nilai vektor [a,b,c]. Dengan nilai vector tersebutlah kita dapat mengetahui berapa luas irisannya. Dalam menentukan nilai irisan pada suatu kristal dapat kita tentukan dengan Indeks Miller (Callister, 2007).

Indeks Miller yaitu merupakan suatu bidang parallel dimana terdapat indek sama dengan jarak antar bidang yang seragam. Indeks dapat ditulis pada suatu bidang irisan dengan persamaan berikut [h,k,l] (Callister, 2007). Dimana antar atom pada suatu material memiliki nilai jarak pada kisi (a) dan dapat ditentukan hasilnya dengan persamaan yaitu:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \dots\dots\dots(8)$$

$$a^2 = (h^2 + k^2 + l^2) \times d^2 \dots\dots\dots(9)$$

$$a^2 = \sqrt{a} \dots\dots\dots(10)$$

a : jarak antar atom pada kisi, h,k,l : satuan index miller dan d : jarak antar kisi

Persamaan Debye-Scherrer untuk menentukan ukuran kristal:

$$D = \frac{k \times \lambda}{\beta \times \cos \theta} \dots\dots\dots(8)$$

λ : Panjang gelombang daidapt pada tabung sinar X

θ : sudut

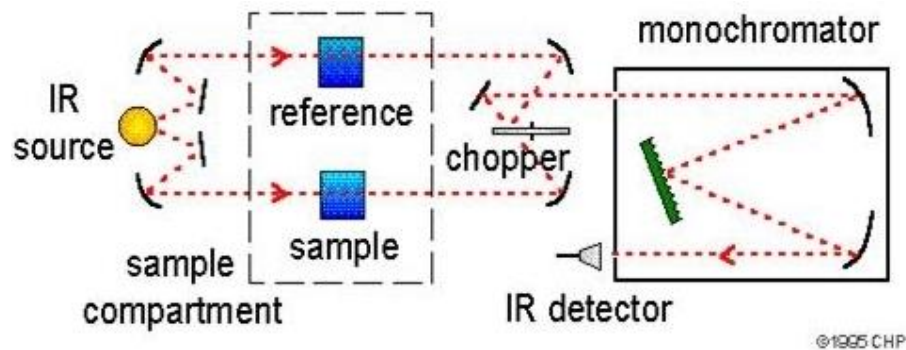
β : FWHM

K : Konstanta

D : ukuran Kristal

3.11. Spektrofotometer Inframerah (FTIR)

FT-IR adalah analisis dengan prinsip gelombang infa merah sebagai pemicu vibrasi ikatan pada gugus fungsi senyawa pada suatu material dengan cara identifikasi gugus fungsi penyusun senyawa suatu struktur molekul. Pengujian FT-IR atau Fourier Transform Infrared dapat menguji berbagai fase benda, seperti fase gas, padat, atau cair. Pengujian juga tidak melalui proses persiapan yang rumit. Adsorpsi, adalah metode spektroskopi yang digunakan, berdasarkan perbedaan penyerapan radiasi infra merah pada setiap molekul suatu bahan. FT-IR memeiliki beberapa syarat agar adsorpsi infra merah pada bahan dapat terpenuhi, yaitu dimana frekuensi vibrasi molekulnya memiliki kesamaan dengan frekuensi radiasi yang dihasilkan dari infra merah dan terjadi perunahan suatu momen dipol selama vibrasi (Chatwal, 1985).



Gambar 8. Prinsip kerja FTIR

FTIR memiliki prinsip suatu sinergi infra merah dipancarkan di control energinya untuk ditembakkan kepada sampel pada suatu celah sempit agar energinya tidak berlebihan. Sinar energy sebuah laser ditembakkan kesempit kemudian masuk ke ruang sampel yang kemudian sinar mengenai bagian permukaan pada sampel lalu dibiaskan pada energy tertentu dengan karakteristik yang dimiliki sampel, sinar yang memiliki energi tertentu dibaca oleh detektor. Tetra Glycerine Sulphate atau Mercury Cadmium Telluride merupakan detector yang digunakan dalam membaca radiasi pada sampel FT-IR. Gelombang monokromatik yang merupakan radiasi dapat diterima pada detector dihasilkan dari frekuensi cahaya spektral infra merah. Spektrofotometer FT-IR didapatkan hasil berupa serapan energy dan puncak serapan dalam mengidentifikasi gugus fungsi dari serapan energy spektra infra merah, dibandingkan hasil yang didapat dengan referensi (Giwangkara, 2006).

Spektra dari analisis IR dapat menentukan struktur molekul senyawa dan memberikan gambaran senyawa tersebut. Spektra IR dihasilkan energi spektra dengan mengukur penyerapan dan refleksi. Bilangan gelombang suatu spektrum elektromagnetik pada bilangan gelombang 14.000 cm^{-1} hingga 10 cm^{-1} . Daerah IR panjang gelombang $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ merupakan bilangan gelombang molekul atom yang merupakan senyawa anorganik, untuk gelombang $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ bisa jadi transisi energi vibrasi yang terjadi pada gugus fungsi, memiliki sensitifitas terjadinya getaran overtone di panjang gelombang $12500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$. Dalam membaca panjang gelombang hasil analisis IR tidak memerlukan teknik khusus yang lebih baik (Schechter et al., 1997).

3.12. LCR Meter

Alat ukur LCR merupakan peralatan elektronik yang biasanya dimanfaatkan sebagai alat ukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R). Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan mengukur impedansi, impedansi diukur secara internal dan dikonversikan ke layar penampil pengukuran yang

dikonversikan ke kapasitansi atau nilai induktansi yang sesuai. Pembacaan akan cukup akurat jika kapasitor atau induktor perangkat yang diuji tidak memiliki impedansi komponen resistif yang signifikan (Marzuarman, 2020)



Gambar 9. LCR Meter

Analisis menggunakan LCR meter yaitu digunakan sebagai alat analisis untuk menentukan konduktivitas pada suatu material. Konduktivitas merupakan suatu material memiliki kation dan anion pada ilmu kelistrikan yang memiliki kemampuan dalam menghantarkan arus listrik, namun pada suatu material logam dapat menghantarkan listrik dengan elektronnya. Resistensi dihasilkan dari analisis menggunakan alat analisis LCR meter. Hasil resistensi yang didapatkan dapat menentukan ketebalan sampel maupun luas penampang, maka nilai konduktivitas listriknya dapat dihitung dengan persamaan yaitu: (Pakpahan, 2016):

$$\sigma = \frac{L}{RA} \dots\dots\dots(11)$$

σ = konduktivitas (S/cm)

L= ketebalan pelet (cm)

A= luas penampang sampel (cm²)

Bentuk struktur kristal suatu material menentukan hasil konduktivitas ionic dan listrik. Konduktivitas tinggi pada suatu material memiliki susunan atom yang tidak padat, maka ion-ion dapat bergerak pada celah atom yang tidak padat. Dimana atom-atom menempati bagian celah atau bagian kosong dari suatu atom

yang tidak rapat. Menentukan konduktivitas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Pakpahan, 2016):

$$J = \sigma E \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

J = kerapatan arus

σ = konduktivitas

E = medan listrik

Persamaan arus sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{L}{A} (\Omega) \dots \dots \dots (13)$$

$$\rho = \frac{RA}{L} (\Omega \text{ m}) \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan:

I = material dengan bahan ionik

A= luas penampang (m^2)

L= Panjang (m)

V= Tegangan

Untuk kerapatan arus J yaitu I/A (Amper/ m^2), menentukan medan listrik E adalah V/L (V/m) (Pakpahan, 2016):

Maka konduktansi dapat ditentukan dengan persamaan, $G = 1/R$, dan nebebtukan resistivitas $\rho = 1/\sigma$, didapat persamaan $\sigma = G$ ($\text{L}/\Omega^{-1}/\text{m}^{-1}$ atau Siemen/meter.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat

Dalam penelitian yang dilakukan ini menggunakan beberapa alat adalah neraca analitik gelas beaker 100 mL, 500 mL, 1000 mL, serta labu ukur 50 mL, 100 mL, dan 500 mL. Pipet volume 10 mL dan 15 mL, propipet, gelas beaker 100 mL, magnetic stirrer serta alata stirrer. Oven berkapasitas 150°C merk Memert denga tipe UN 55 yang memiliki fitur pengeringan menggunakan kipas pemerataan panas dan fentilasi pengatur kelembapan system dalamoen. Cawan perselin dan *Furnance* meek Nabetherm dengan tipr LT 3/11 Mufle furnace yang kapasitas Tmax sebesar 1100-1200°C. Selanjutana adalah alat instrument diantaranya, X-ray Fluorescene (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur/elemen pada suatu bahan atau sampel, Fourier Transform Infrared (FT-IR) analisis suatu gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa kimia yang terdapat didalam sampel, X-ray Diffraction (XRD) untuk identifikasi fase bahan kerystal dan dapt memberikan dimensi unit sel, terakhir adalah instrument LCR meter untuk mengukur Resistensi (R) kapasitas (C) dan induktansi (L) dari suatu komponen.

4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir zirkon Kalimantan ($ZrSiO_4$), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), amonium hidroksida (NH_4OH), zirkon (ZrO_2) PSTA BATAN, zirkon (ZrO_2) Merck, yttrium merck dan akuades.

4.3 Cara kerja

Sintesis ZrO_2 menggunakan metode fusi kaustik

Bahan ZrO_2 disintesis dengan konsentrasi zirkon ($ZrSiO_4$) dan NaOH dicampur dengan perbandingan 1:4 yaitu 183,3:160 g, kemudian dicampurkan pada temperatur $800^\circ C$ selama 2 jam hingga diperoleh serbuk keabu-abuan (frit). Frit dilakukan dileaching dengan akuades dengan perbandingan air : frit 10mL per 1g hingga 15menit. Lalu dilakukan pencucian, hasil pencucian disaring supaya terpisah antara filtrat dengan residu. Ambil bagian residu dilakukan pemanasan temperatur $100^\circ C$ selama 1jam agar kering. Hasil pemansan yang diperoleh selanjutnya dileaching dengan larutan HCl 3,5m pada perbandingan 10:1 dengan kondisi pengadukan dan dipanaskan menggunakan pengaduk pada suhu $80^\circ C$. Kemudian dilakukan penyaringan hingga diperoleh perubahan warna larutan kuning bening. Maka didapatkan senyawa yaitu $ZrOCl_2 \cdot 6H_2O$ (ZOC) kemudian ditambahkan senyawa 3M NH_4OH secara perlahan ke dalam larutan ZOC hingga menyerupai awan putih yaitu gel, gel didiamkan hingga 24jam lalu dilakukan penyaringan. Kemudian dilakukan pemanasan hingga temperatur $150^\circ C$ hingga 2jam untuk mendapatkan $Zr(OH)_4$ kemudian dikalsinasi pada temperatur 600,700, 800, 900, $1000^\circ C$ selama 2,3,4,5 dan 6 jam untuk mendapatkan ZrO_2 berwarna putih. Kemudian dilakukan analisis instrumen XRF (X-ray Fluorescence), FTIR (Fourier Transform Infrared), dan XRD (X-ray Diffraction).

4.3.1 Kalsinasi

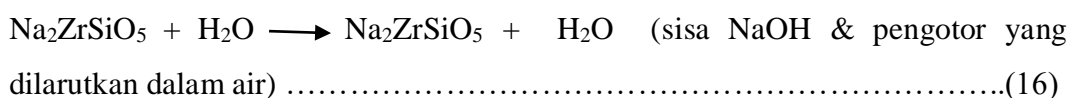
Ikatan kuat yang terjadi pada mineral zirkon yaitu antara Zr dan Si dapat dilakukan melalui temperatur tinggi dengan dilakukan pemanasan. Dilakukan pencampuran zircon $ZrSiO_4$ yang dicampurkan dengan NaOH teknis lalu diaduk hingga homogen berdasarkan stiokiometri dengan perbandingan pasir zircon: NaOH yaitu 183,3 gram : 160 gram NaOH dengan temperatur $800^\circ C$ maka terjadi reaksi yaitu (Poernomo, H., 2020; Liu et al., 2014):



4.3.2 Pelindian

Pemanasan yang telah dilakukan di lindi bertahap menggunakan aquades yaitu aquades : lelehan maka perbandingannya 10 ml : 1 g, suhu $80^\circ C$ selama 3jam, maka didapatkan pengotor larut dengan aquades didalam pasir zirkon

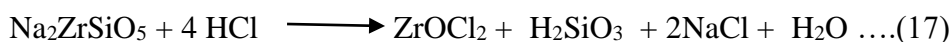
direaksikan NaOH dan didapatkan air berwarna keruh, maka didapatkan senyawa $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5$. Terdapatnya pengotor NaOH pada produk cair dihilangkan menggunakan air dan $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5$ tidak dapat larut dalam air dengan terjadinya perubahan pH 7 yang terlindi secara bertahap, maka reaksinya yaitu:



Kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dan residunya, diperoleh filtrat berupa pasir sedangkan residunya berwarna putih. Residu diambil kemudian dikeringkan pada suhu 100°C selama satu jam untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam residu.

4.3.3 Pelindian dengan HCl

Hasil $\text{Na}_2\text{ZrSiO}_5$ dileaching menggunakan HCl 3,5M ditambahkan perlahan-lahan sampai berwarna kekuningan, ZrOCl_2 terbentuk didapatkan reaksi yaitu (Liu et al., 2014):

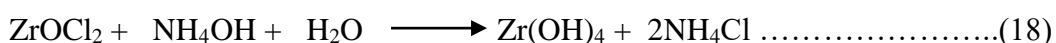


Kemudian dilakukan sintesis $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (ZOC) dan $\text{Zr}(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kemudian disaring untuk diambil filtratnya dan diperoleh larutan berwarna kuning jernih.

4.3.4 Kristalisasi

Larutan untuk proses kopresipitasi yang biasa digunakan dalam sintesis zirkonia adalah larutan basa atau larutan amonia. Larutan amonia lebih disukai karena lebih mudah dipisahkan dari gel selama proses penyaringan dan pengeringan (Kurapova dan Konakov, 2014). Pengendapan bersama menghasilkan gel zirkonia hidroksida amorf. Co-presipitasi adalah metode analitik digunakan pada ion - ion pada sebuah larutan. Maka terjadinya suatu proses kopresipitas $\text{Zr}(\text{OH})_4$, dimana Zr^{4+} merupakan asal larutan ZrOCl_2 melepaskan ion Zr^{4+} berikatab dengan ion OH yang dimiliki NH_4OH dalam konsentrasi yang cukup untuk melebihi kelarutan senyawa yang dihasilkan dan menghasilkan larutan jenuh. Pertumbuhan kristal terjadi saat proses kalsinasi terjadi dan juga terjadinya yang mengakibatkan terbentuknya suatu endapan.

Terbentuknya larutan $ZrOCl_2$ yang kemudian ditambahkan aquadest dan ditambahkan secara perlahan larutan amonia untuk membentuk sebuah endapan zirkonium hidroksida. Proses tersebut didapatkan hasil reaksi berupa sebagai berikut (Rana et al., 2007):



Endapan yang didapatkan memiliki bentuk gel zirkonium hidroksida ($Zr(OH)_4$) yang kemudian dilakukan pembersihan atau pencucian dengan menggunakan aquades, agar pengotor klorin ataupun pengotor lainnya larut pada aquades. Dilakukan penyaringan gel untuk memisahkan pengotr yang larut kedalam aquades dan kemudian dilakukan pengeringan atau kalsinasi pada suhu tinggi agar didapatkan serbuk zirconia (ZrO_2) (Cardarelli, 2008):

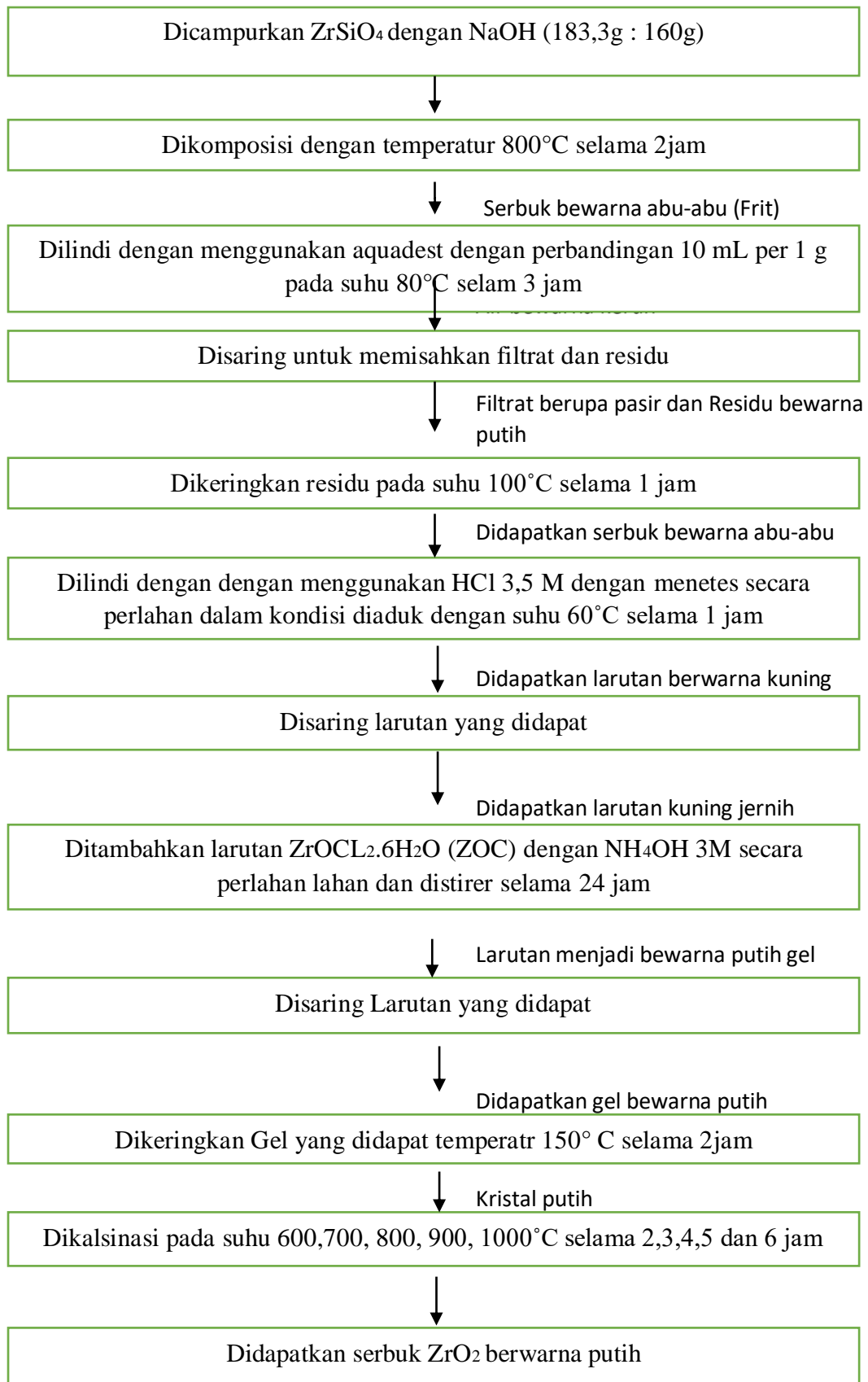


4.3.5 Yttria Stabilized Zirconia (YSZ)

Sintesis material Yttria Stabilized Zirconia (ZrO_2 - Y_2O_3) awal mula proses pencampuran yaitu dilakukan dengan menggiling menggunakan bahan dasar Y_2O_3 dan serbuk ZrO_2 dengan perbandingan 6,2:1. Proses blending dengan grinding dilakukan untuk mendapatkan homogen serbuk Y_2O_3 dan ZrO_2 , daihaluskan dengan mortar dan alu. Serbuk yang telah dicampurkan digiling bersama selama 5 jam kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 3 jam setelah itu dipadatkan pada 4000 psi dan disinter pada suhu $1300^\circ C$ selama 3 jam. Selanjutnya sampel digerus dan dikalsinasi kembali pada suhu $500^\circ C$ selama 3 jam. Penggilingan berulang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan tingkat homogenitas hasil sintesis. Selanjutnya serbuk paduan dipadatkan pada tekanan 14.600 psi dengan die berdiameter 1,1 cm hingga membentuk pelet kemudian disinter pada suhu $1400^\circ C$ selama 3 jam. Kemudian dilakukan sintering pada suhu $1250^\circ C$ selama 3jam sampai diperoleh pellet berwarna putih. Analisis hasil untuk melihat konduktivitas ionik dari sampel hasil sintesis dilakukan dengan alat LCR meter.

4.4 Skema penelitian

Sintesis ZrO_2 Dengan Menggunakan Metode *Alkali Fusion*



↓
Dipreparasi sampel dan kemudian dilakukan analisis XRF, XRD dan FTIR

Sintesis Yttria Stabilized Zirconia Dengan Menggunakan Metode *Solid-State Reaction*

Didoping serbuk ZrO_2 dengan Y_2O_3 dengan rasio berat $ZrO_2 : Y_2O_3$ sebesar 6,2 : 1

↓
Dicampurkan dan digerus menggunakan cawan porselin selama 5 jam

↓
Dikompaksi pada tekanan 4000 psi sampai didapatkan pellet

↓
Dikalsinasi pada temperature $500^\circ C$ selama 2jam

↓
Disintering selama $1300^\circ C$ selama 3 jam

↓
Serbuk yang didapat dilakukan kompaksi hingga tekanan 14.600psi dengan *dies* diameternya 1,1cm sampai didapatkan bentuk pelet

↓
Sintering dilakukan hingga suhu $1250^\circ C$ selama 3jam

↓
Didapatkan pellet berwarna putih

↓
Sampel yang telah di Sintesis

↓

Dipreparasi sampel dan kemudian dilakukakan analisis LCR Meter

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Zirkon

Mineral zirkon yang merupakan bahan baku zirkonia yang dapat dijadikan bahan keramik dengan pengolahan atau proses sintesis yang memiliki kekuatan yang tinggi, kerapatan yang tinggi dan kuat pada titik leleh hingga temperature 2700°C. Zirkonia yang didapatkan dari hasil sintesis mineral zirkon memiliki konduktivitas ion oksigen, kuat pada korosi, fleksibilitas cukup tinggi, maupun konduktivitas termal yang rendah (Rivai dan Takahashi, 2010). Berbagai manfaat yang didapatkan pada zirkonia yaitu dapat diaplikasikan sebagai pompa oksigen, pelapis penghalang termal, sensor oksigen, sel bahan bakar, aplikasi suhu tinggi karena kemampuan yang dimilikinya dan sifatnya yang lain (Shackelford dan Doremus, 2008).

5.2. Sintesis Zirkon

Material ZrO_2 disintesis dengan menggunakan metode fusi kaustik. Pensintesisan mineral zirkon untuk mendapatkan zirkonia melibatkan beberapa proses yaitu dekomposisi mineral zirkon dengan metode peleburan menggunakan basa, dilindi aquades, pelindian HCl, dan kalsinasi NH_4OH (Sudjoko dan Purwani, 2005). Sintesis pasir zirkon untuk mendapatkan kristal atau zirkonia murni dengan menggunakan metode alkali fusi. Metode ini biasa digunakan dalam ekstraksi atau sintesis pasir zirkon yang ada pada negeri karena memiliki proses yang sederhana dan bahan baku yang murah maupun mudah didapatkan. Alkali fusi merupakan metode pengolahan untuk pemisahan Zr^{2+} dengan Si dengan pembentukan sebuah senyawa. Senyawa silikat dipisahkan dengan pemanasan yang tinggi dengan basa lalu dilarutkan pada air sedangkan senyawa zirkonium dicampurkan dengan larutan asam klorida hingga didapatkan ZOC. ZOC merupakan larutan awal dalam proses mendapatkan produk zirkonia. Metode alkali fusi dapat dilakukan dengan menggunakan dua reaktan. Reaktan pertama

dengan natrium hidrosida (NaOH) untuk reaktan kedua yaitu natrium karbonat (Na_2CO_3). Kedua reaktan memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing dimana pada reaktan kedua memiliki biaya bahan baku lebih murah, tetapi dilakukan pada suhu tinggi dan didapatkan hanya berupa zirconia komersial atau grade keramik. Reaktan pertama memiliki biaya bahan baku lebih mahal namun hanya pada temperatur rendah dan produk zirkonia dihasilkan lebih baik. Mempertimbangkan proses yang sederhana, mudah dilakukan dan memiliki biaya dalam sitesisnya yang murah disbanding metode lain maka metode alkali fusi ini digunakan dalam sintesis zirkonia. Kunci utama yang harus diperhatikan pada metode alkali fusi ini yaitu proses peleburan atau kalsinasi diawal. Proses peleburan dengan menggunakan basa dilakukan pada temperature 800°C hingga 2 jam. Hasil kalsinasi didapatkan berupa natrium silikat dan natrium zirkonat. Peleburan kemudian dilindi dengan aquades bertujuan menghilangkan pengotornya atau memisahkan natrium silikat dan natrium zirkonat. Dikarenakan natrium zirkonat tidak larut dalam air sedangkan natrium silikat bersifat larut pada aquadest dan hingga didapatkan pH netral atau 6 hingga 7. Kemudian dilakukan pemisahan dengan cara disaring untuk mendapatkan residu (natrium zirkonat) dan filtrat (natrium silikat). Dalam pemisahan senyawa dilakukan dengan pelindian hasil fusi (frit) dengan air pada metode alkali fusi ini (Putri et al., 2016).

Dalam sintesis zirconia terdapat juga metode sol-gel yang digunakan untuk mensintesis material berbasis oksida berbeda-beda tergantung dari prekursor dan bentuk produk akhir. Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal, diantaranya adalah pemilihan bahan baku material, modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel itu sendiri, serta laju hidrolisis dan kondensasi. Beberapa keuntungan menggunakan metode sol-gel dalam mempreparasi sintesis nanomaterial adalah biaya yang digunakan lebih sedikit, temperatur proses rendah, serta mudah dalam mengatur komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik) (Putri et al., 2016).

Tahapan-tahapan dalam metode sol-gel pada umumnya terbagi atas tiga bagian, yaitu hidrolisis, kondensasi alkohol dan kondensasi air. Ada juga beberapa

sumber mengatakan bahwasannya tahapan metode sol-gel itu terbagi atas empat tahap, yaitu hidrolisis, kondensasi, *aging* atau pematangan dan *drying* atau pengeringan (He M *et al*, 2003) .

5.2.1 Kalsinasi

Kalsinasi merupakan pemanasan bahan pada temperature tinggi tanpa terjadinya peleburan sehingga hidrat karbonat atau komponen lainnya terurai dan bahan yang tidak diinginkan menguap. Metode alkali fusi pada proses kalsinasi memiliki fungsi untuk mengikat silikat kemudian terlepas dengan zircon, maka didapatkan berupa senyawa NaZr dan NaSi . Beberapa faktor–faktor mempengaruhi proses kalsinasi ini yaitu: suhu dan waktu kalsinasi yang mana semakin lama prosesnya maka didapatkan hasil yang baik dan zat-zat pengotor terurai sempurna. Meningkatkan persentase zirkonia salah satu metode tersebut dapat dilakukan dengan metode *Alkali Fusion* menggunakan NaOH (Putri *et al*., 2016).



Gambar 10. Kalsinasi Pasir Zirkon : NaOH dengan Perbandingan 1:4

5.2.2 Pelindian

Pelindian adalah pemisahan zat padat dengan cara dilarutkan di dalam zat cair, maka didapatkan hasil zat padat ada sebagian yang terlarut dan ada yang tidak terlarut sebagai inert (ampas). Zat yang dapat larut adalah NaSi dan tidak

dapat dilarutkan dengan air adalah NaZr . Pelindian dalam proses ini berfungsi sebagai pemisah kedua zat untuk dilakukan proses filtrasi selanjutnya (Putri et al.,2016).



Gambar 11. Proses Pelindian

5.2.3 Filtrasi

Filtrasi adalah proses pemisahan pada metode alkali fusi antara padatan dengan cairan dengan dilakukan penyaringan. Proses pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan kertas saring supaya yang terpisah hanyalah cairan saja yang dapat melewati saringan pada proses filtrasi (Putri et al.,2016).

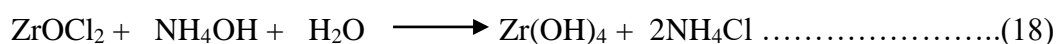


Gambar 12. Filtrasi

5.2.4 Kristalisasi

Larutan untuk proses kopresipitasi yang biasa digunakan dalam sintesis zirkonia adalah larutan basa atau larutan amonia. Larutan amonia lebih disukai karena lebih mudah dipisahkan dari gel selama proses penyaringan dan pengeringan (Kurapova dan Konakov, 2014). Pengendapan bersama menghasilkan gel zirkonia hidroksida amorf. Co-presipitasi adalah metode analitik digunakan pada ion - ion pada sebuah larutan. Maka terjadinya suatu proses kopresipitas $Zr(OH)_4$, dimana Zr^{4+} merupakan asal larutan $ZrOCl_2$ melepaskan ion Zr^{4+} berikatab dengan ion OH yang dimiliki NH_4OH dalam konsentrasi yang cukup untuk melebihi kelarutan senyawa yang dihasilkan dan menghasilkan larutan jenuh. Pertumbuhan kristal terjadi saat proses kalsinasi terjadi dan juga terjadinya yang mengakibatkan terbentuknya suatu endapan.

Terbentuknya larutan $ZrOCl_2$ yang kemudian ditambahkan aquadest dan ditambahkan secara perlahan larutan amonia untuk membentuk sebuah endapan zirkonium hidroksida. Proses tersebut didapatkan hasil reaksi berupa sebagai berikut (Rana et al., 2007):



Endapan yang didapatkan memiliki bentuk gel zirkonium hidroksida ($Zr(OH)_4$) yang kemudian dilakukan pembersihan atau pencucian dengan menggunakan aquades, agar pengotor klorin ataupun pengotor lainnya larut pada aquades. Dilakukan penyaringan gel untuk memisahkan pengotr yang larut kedalam aquades dan kemudian dilakukan pengeringan atau kalsinasi pada suhu tinggi agar didapatkan serbuk zirconia (ZrO_2) (Cardarelli, 2008):





Gambar 13. Pelindian Frit Ditambahkan Dengan HCl



Larutan yang didapatkan berwarna kuning keruh kemudian disaring hingga diperoleh larutan kuning jernih. Larutan berwarna kuning bening tersebut merupakan larutan $\text{ZrOCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ZOC). Zirkonium Oksidaklorida adalah bubuk putih tidak berbau yang memiliki berat molekul 3222,30 g/mol. Titik didih pada tekanan (760 torr) adalah 210 °C (410 °F), memiliki titik leleh 150 °C (302 °C) dan tekanan uap pada 20 °C adalah 9 hingga 13 torr. Secara komersial, ZOC dapat diperoleh dari peleburan pasir zirkon dengan soda api (NaOH) pada suhu 750 °C.

Natrium zirkonat menghidrolisis dengan zirkonia hidrat, yang direaksikan dengan asam klorida panas. Zirkonium oksiklorida dapat dibuat dari larutan oksiklorida dengan kristalisasi. Zirkonium oksiklorida juga dapat diperoleh dengan melarutkan zirkonium tetraklorida dalam air atau dengan mereaksikan zirkonium karbonat dengan asam klorida (Hikmah, 2012).

Kemudian ditambahkan larutan 3M NH_4OH secara perlahan ke dalam larutan ZOC hingga terbentuk endapan putih dan dilakukan gel aging selama 24 jam untuk mendapatkan gel berwarna putih yang kemudian disaring.



Gambar 15. ZOC Ditambahkan NH_4OH dan Distirer Selama 24 Jam

Gel putih dikeringkan pada suhu 150°C selama 2 jam untuk mendapatkan serbuk $\text{Zr}(\text{OH})_4$ kemudian dikalsinasi dengan variasi suhu 1000°C , 900°C , 800°C , 700°C dan 600°C selama 6 jam dilakukan variasi suhu yang sama pada selang waktu 5, 4, 3, dan 2 jam hingga didapat serbuk ZrO_2 berwarna putih kecoklatan.



Gambar 16. Kalsinasi Dengan Variasi Suhu Dan Waktu

Variasi suhu 1000, 900, 800, 700, 600 °C dan pada masing masing suhu di berikan variasi waktu 2, 3, 4, 5 dan 6 jam bertujuan untuk mendapatkan waktu yang optimum pada proses kalsinasi dan juga dikarenakan sebelumnya telah dilakukan percobaan pada suhu 800 °C pada waktu 5 jam sesuai dengan literatur dan didapatkan asil sampel terbakar atau hangus. Maka didapatkan hasil berupa serbuk ZrO_2 berwarna putih kecolatan.



Gambar 17. ZrO_2

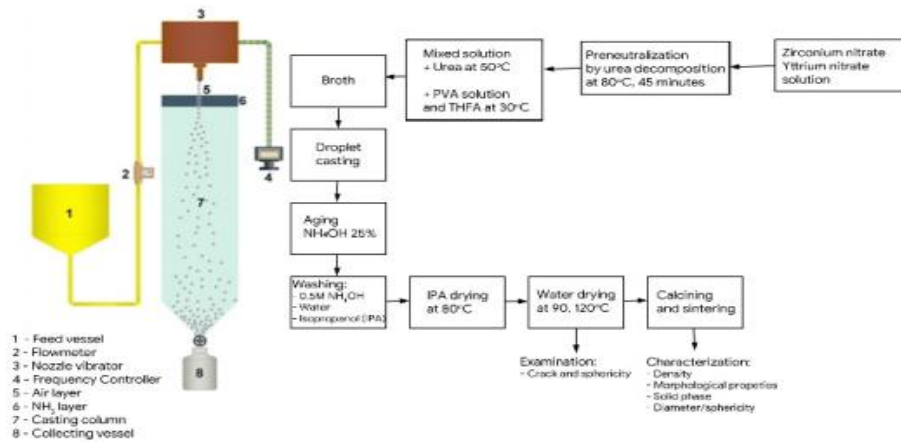
5.3. Yttria Stabilized Zirkonia

Pengembangan material YSZ sudah banyak dilakukan dengan berbagai macam metode sintesis, pada metode fisika (reaksi solid state) juga sudah banyak dilakukan penelitian. Reaksi padatan, terutama proses pencampuran dengan penggilingan, memiliki keunggulan yang sederhana dalam prosesnya dibandingkan metode lain yang ada. Metode fisika (reaksi solid state) banyak digunakan dalam sintesis bahan anorganik, karena memiliki proses yang sederhana dengan hanya memanaskan pada suhu tinggi dalam waktu yang relatif lama dan penghomogenan yang dapat dilakukan dengan alat konvensional (Ismunandar, 2006). Dispersi dan pencampuran harus diperhatikan agar didapatkan hasil maksimal pada mekanisme reaksi saat padat. Terjadinya proses dua partikel mengalami reaksi keadaan padat, partikel harus berdekatan agar bereaksi, karena partikel atom yang saling berdekatan akan mengalami reaksi dengan mudah. Hal ini disebabkan kation dan anion dari satu struktur mengalami perpindahan atau bertukar mengalami beberapa mekanisme ke struktur lain untuk membentuk senyawa baru (Ropp, 2003).

Zirkonia murni memiliki struktur yang tidak stabil dalam hal fungsi suhu, karena zirkonia murni memiliki tiga jenis struktur kristal pada temperatur yang berbeda.. Temperatur 1150°C dan ruangan memiliki struktur kristal monoklinik ($m\text{-ZrO}_2$) saat ditambahkan suhu hingga memanaskan pada temperatur rendah struktur tetragonal ($t\text{-ZrO}_2$), Dimana pada perubahan temperature perantara antara struktur monoklinik dan kubik. Terjadinya struktur zirkonia kubik ($c\text{-ZrO}_2$) dilakukan pemanasan hingga suhu 2370°C (Tonejc et al., 1999). Pengaplikasian zirkonia pada bidang industri biasanya dalam keadaan stabil. Disebabkan karena zirkonia pada fase tetragonal memiliki ketangguhan mekanik atau pada fase kubik dengan memiliki konduktivitas ionik yang tinggi (Shackelford dan Doremus, 2008). Biasanya dalam pengaplikasian zirconia dilakukan penstabilan dengan ditambahkan oksida lain seperti MnO, NiO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Y₂O₃, dan Ce₂O₃. Karena zirkonia jika ditambahkan dengan bahan oksida, maka terjadi struktur bentuk kristal pada fase tetragonal dan kubik yang memiliki kestabilan yang tinggi pada suhu ruangan.

Zirkonia pada penelitian ini dilakukan dengan penambahan yttria atau YSZ (Yttria Stabilized Zirconia). Dengan yttria yang ditambahkan pada zirkonia terjadinya pergantian sebagian ion Zr^{4+} pada kisi zirkonia yang digantikan ion Y^{3+} (Shakthinathan et al, 2012). Penambahan yttria penstabilan zirkonia murni mengakibatkan Y^{3+} menggantikan sebagian Zr^{2+} yang berada pada ZrO_2 atau zirkonia membuat oksigen yang terlepas karena yttria menggantikan empat ion O^{2-} akibatnya oksigen mengalami kekosongan karena tiga ion O^{2+} dari yttria yang terjadi pada zirkonia (Shakthinathan et al, 2012). Terjadi karena temperature tertentu menghasilkan energy bagi ion O^{2-} bergerak. Zirkonia yang distabilkan yttria mengakibatkan kestabilisasi pada fase tetragonal dengan mekanik yang tangguh saat konsentrasi dopan yang lebih rendah atau sebaliknya pada konsentrasi dopan yang lebih tinggi pada fase kubik dengan nilai konduktivitas yang ringgi (Shackelford dan Doremus, 2008). Kandungan yttria pada 2-3 mol%, saat didoping zirkonia jenis strukturnya yaitu Tetragonal Zirconia Polycrystals (TZP). Sedangkan zirkonia dengan kandungan 5-7 mol% yttria disebut Partially Stabilized Zirconia (PSZ), dan > 7 mol% yttria disebut Cubic Stabilized Zirconia (CSZ) (Kim, 2004).

Sintesis YSZ (Yttria Stabilized Zirconium) terdapat juga metode peparasi Broth dan menggunakan dua jenis precursor zirconium dengan penambahan urea yang berfungsi sebagai agen presipitasi homogennya untuk menghasilkan larutan sol dan sebagai agen penyedia porositas. Prekursor zirconium yang digunakan adalah zirconium nitrat penhidrat dan zirconium oksinitrat hidrat. Pada fabrikasi kernel dengan proses sol gel, cara gelasi eksternal dipiilih karena proses sederhana dan dapat dilakukan pada temeratur kamar. Untuk mendapatkan kernel YSZ sesuai spesifikasi, tahapan sol gel yang harus dilakukan adalah penyiapan umpan sol, gelasi sol (gal casting), aging-washing-drying hasil gelasi dan proses perlakuan panas gel kering agar diperoleh kernel tersinter (Sarjono dkk, 2020).



Gambar 18. Metode Broth

Dari gambar dapat dilihat metode broth merupakan proses yang sederhana dengan alat yang kusus namun dikarenakan keterbatasan alat maka digunakan metode fisika (solid state reaction).

Zirkon yang akan di sintesis dengan Yttria 6,2:1 dengan variasi sampel:

No	ZrO_2	Y_2O_3
1	6,0368 g	0.2258 g
2	5.9136 g	0.4516 g
3	5.7904 g	0.6774 g
4	5.6672 g	0.9032 g
5	5.544 g	1.129 g

**Table 2. Variasi sampel ZrO_2 dengan Y_2O_3 pada sampel zirkon dan zirkon
MERCK**

Variasi sampel ini dilakukan bertujuan untuk mencari massa optimal dalam sintesis ini. Sintesis material Yttria Stabilized Zirconia ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$) awal mula proses pencampuran yaitu dilakukan dengan menggiling menggunakan bahan dasar Y_2O_3 dan serbuk ZrO_2 dengan perbandingan 6,2:1. Proses blending dengan grinding dilakukan untuk mendapatkan homogen serbuk Y_2O_3 dan ZrO_2 , daihaluskan dengan mortar dan alu.



Gambar 19. Penggerusan ZrO_2 Dicampurkan dengan Y_2O_3

Serbuk yang telah dicampurkan digiling bersama selama 5 jam dengan menggunakan mortar dan alu, kemudian dikalsinasi pada suhu $500^{\circ}C$ selama 3 jam.



Gambar 20. Dikalsinasi pada Suhu $500^{\circ}C$

Dilakukan pemadatan dengan tekanan 4000psi, kemudian disinter suhu $1300^{\circ}C$ selama 3jam. Dilakukan pengerusan yaitu untuk memperluas permukaan, kemudian dilakukan kalsinasi untuk memperlembang ikatan. Lalu dilakukan

kompaksi bertujuan untuk menghasilkan sebuah pelet menggunakan dies yang berukuran 1,1 cm.



Gambar 21. Kompaksi Pada Tekanan 14.600 psi

Analisis hasil dilakukan pada penampang pelet. Penampang diperoleh dengan memotong pelet yang telah mengalami sintering menggunakan mesin potong otomatis. Kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan instrument LCR meter untuk mengukur Resistensi (R) kapasitas (C) dan induktansi (L) dari suatu komponen.

5.4. Karakterisasi zirkonia

5.4.1 X-Ray Fluorescence (XRF)

856 Pasir Zirkon					
3 Maret 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	8.551	%	SiO2	16.045	%
P	1.557	%	P2O5	3.02	%
Ca	0.346	%	CaO	0.347	%
Sc	0	ppm	Sc2O3	0	ppm
Ti	1.057	%	TiO2	1.25	%
V	6.9	ppm	V2O5	8.2	ppm
Mn	50.8	ppm	MnO	46.3	ppm
Fe	0.51	%	Fe2O3	0.515	%
As	17.1	ppm	As2O3	14.2	ppm
Se	5.2	ppm	SeO2	5	ppm
Y	0.258	%	Y2O3	0.228	%
Zr	59.58	%	ZrO2	55.654	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Cd	202.6	ppm	CdO	158.8	ppm
Sn	22.071	%	SnO2	19.212	%
La	0	ppm	La2O3	0	ppm
Ce	468.9	ppm	CeO2	407.9	ppm
Pr	0	ppm	Pr2O3	0	ppm
Nd	0	ppm	Nd2O3	0	ppm
Pm	0	ppm	Pm2O3	0	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	17.1	ppm	Eu2O3	14.1	ppm
Gd	0	ppm	Gd2O3	0	ppm
Tb	0	ppm	Tb4O7	0	ppm
Dy	0	ppm	Dy2O3	0	ppm
Ho	0	ppm	Ho2O3	0	ppm
Er	78.9	ppm	Er2O3	65.9	ppm
Tm	116.7	ppm	Tm2O3	94.9	ppm
Yb	459.3	ppm	Yb2O3	370.9	ppm
Lu	0	ppm	Lu2O3	0	ppm
Hf	2.7	%	HfO2	2.255	%
W	95.9	ppm	WO3	85.2	ppm
Au	0	ppm	PbO	178.1	ppm
Pb	235.4	ppm	Bi2O3	144.1	ppm
Bi	185.3	ppm	ThO2	825.4	ppm
Th	0.104	%	U3O8	0.192	%
U	0.234	%	Au	0	ppm
Normalisation factor					
-					

Table 3. Data XRF Pasir Zirkon

Sintesis zirkonia dalam penelitian ini digunakan material pasir zirkon Kalimantan Tengah. Hasil analisis penghilangan pengotor material zirkon memerlukan metode pemisahan yang tepat sehingga dalam sintesis zirkonia akan diperoleh zirkonia dengan kemurnian tinggi. Pencarian sampel yang memiliki kriteria yang diinginkan adalah dengan menganalisa seluruh sampel dengan instrumen *x-ray fluorescence* (XRF). Instrumen ini akan menyajikan data berupa

tabel, dimana dalam tabel yang tersaji telah tertera unsur-unsur didalam sampel yang diujikan beserta dengan presentasi kuantitasnya.

Dari Hasil analisis didapatkan senyawa yang terdapat dalam sampel pasir Zirkon Kalimantan, dari hasil XRF didapatkan kadar senyawa dominan didalamnya yaitu Si, Ti, Zr, Y dan senyawa lainnya. Kemudian hasil XRF dibandingkan dengan hasil sintesis zirconia yang telah didapat dari metode fusi kuastik dan terdapat penurunan kadar senyawa yang terdapat dalam zirkon dan terjadi peningkatan kadar zircon yang didapat dari 59,58% menjadi 83,501% maka dapat disimpulkan dalam sintesis telah berhasil dilakukan dengan metode fusi kuastik.

4544 Zirkonia 2 jam 1000 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,462	%	Al ₂ O ₃	0,812	%
Si	3,025	%	SiO ₂	5,944	%
P	1,197	%	P ₂ O ₅	2,516	%
Cl	0,643	%	Cl	0,466	%
Ca	0,951	%	CaO	0,96	%
Ti	5,256	%	TiO ₂	6,311	%
V	261,2	Ppm	V ₂ O ₅	329,3	ppm
Mn	353,8	Ppm	MnO	327,6	ppm
Fe	0,887	%	Fe ₂ O ₃	0,909	%
Ni	89,8	Ppm	NiO	82,7	ppm
Zn	63,4	Ppm	ZnO	56,6	ppm
As	24,4	Ppm	As ₂ O ₃	20,8	ppm
Se	17,5	Ppm	SeO ₂	17,4	ppm
Y	0,605	%	Y ₂ O ₃	0,539	%
Zr	83,501	%	ZrO ₂	78,609	%
Nb	0	Ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,123	%	BaO	955,4	ppm
Nd	249,7	Ppm	Nd ₂ O ₃	209	ppm
Sm	0	Ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	0	Ppm	Eu ₂ O ₃	0	ppm
Yb	825,4	Ppm	Yb ₂ O ₃	674,7	ppm
Hf	2,873	%	HfO ₂	2,432	%
W	0	Ppm	WO ₃	0	ppm

Re	31	Ppm	ReO ₂	26	ppm
Pb	6,2	Ppm	PbO	4,6	ppm
Bi	217,4	Ppm	Bi ₂ O ₃	171,1	ppm
Th	0,115	%	ThO ₂	921,8	ppm
U	0,147	%	U ₃ O ₈	0,122	%
Normalisation factor					
1,027			1,010		

Table 4. Data XRF Zirkonia Sintesis

4630 Zirkonia Pabrik					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	1.299	%	P ₂ O ₅	2.771	%
Ca	0.24	%	CaO	0.252	%
Co	0	Ppm	Co ₃ O ₄	0	Ppm
As	0	Ppm	As ₂ O ₃	0	Ppm
Se	16.3	Ppm	SeO ₂	17	Ppm
Zr	95.329	%	ZrO ₂	94.216	%
Ce	161.4	Ppm	CeO ₂	148.4	Ppm
Er	0	Ppm	Er ₂ O ₃	0	Ppm
Hf	3.083	%	HfO ₂	2.719	%
Pb	71.4	Ppm	PbO	56.1	Ppm
Bi	238.4	Ppm	Bi ₂ O ₃	196.9	Ppm
Normalisation factor					
0.971			0.960		

Table 5. Data XRF Zirkonia MERCK

4631 Zirkonia BATAN					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0	Ppm	P ₂ O ₅	0	Ppm
Ca	0.262	%	CaO	0.28	%
Ti	104.7	Ppm	TiO ₂	133	Ppm
V	38.1	Ppm	V ₂ O ₅	51.8	Ppm
Fe	78.9	Ppm	Fe ₂ O ₃	85.8	Ppm
Co	0	Ppm	Co ₃ O ₄	0	Ppm
As	28.6	Ppm	As ₂ O ₃	26.9	Ppm
Se	25.2	Ppm	SeO ₂	26.8	Ppm
Y	9.006	%	Y ₂ O ₃	8.567	%
Zr	87.707	%	ZrO ₂	88.433	%

Ce	171.5	Ppm	CeO ₂	160.4	Ppm
Er	0	Ppm	Er ₂ O ₃	0	Ppm
Hf	2.953	%	HfO ₂	2.649	%
Pb	31.8	Ppm	PbO	25.8	Ppm
Bi	234.1	Ppm	Bi ₂ O ₃	196.7	Ppm
Normalisation factor					
0.983			0.974		

Table 6. Data XRF Zirkonia Batan

Tiga tabel diatas merupakan hasil cuplikan berdasarkan tiga perbedaan Zirkonium (ZrO₂) yang digunakan, yaitu Zirkonium Sintesis yang memiliki kandungan unsur Zr dan senyawa ZrO₂, Zirkon MERCK, dan kemudian Zirkon Batan. Zirkonium Sintesis memiliki kandungan senyawa ZrO₂ 78,609 %. Kemudian sampel Zirkonium MERCK menyajikan kandungan ZrO₂ yang relatif lebih tinggi, sebesar 94,216 % dan Zirkonium Batan memiliki kandungan sebesar 88,433 %. Hasil uji menggunakan XRF menunjukkan kandungan Zirkonium yang terdapat dalam sampel.

Identitas sampel diatas yang memiliki kandungan Zr dan ZrO₂ tertinggi menunjukkan bahwa kadar zirkon yang terkandung dalam sampel mempengaruhi kandungan Zirkonium yang berada pada sampel, suhu dan waktu dalam kalsinasi juga mempengaruhi kandungan zirkonium. Dari analisis XRF maka didapatkan pula kandungan senyawa lain yang terkandung didalam zirkon (ZrO). Dari hasil analisis XRF juga didapatkan hasil bahwa kandungan pasir zirkon juga sudah terkandung Ytria dengan kandungan yang tidak banyak. Terdapat juga senyawa silikia (SiO₂) sebanyak 5.944% yang terdeteksi pada sintesis zirkon dimungkinkan dikarenakan pasir zirkon yang digunakan dalam bahan baku pembuatan sintesis ini. Senyawa (Fe) besi dan (Ti) titanium yang juga terdapat dalam pasir zirkon tidak hilang atau masih terkandung dalam senyawa zirkon, hal ini dikarenakan pada penelitian kandungan HCl dalam pencampurannya, suhu dan memerlukan metode yang baik dalam melarutkan Ti dan Fe. Warna gelap yang didapat dikarenakan pengotor yang bersifat magnetis seperti kandungan Fe dan Ti

seperti Fe_2O_3 , Fe_3O_4 dan FeTiO_3 , sehingga sehingga didapatkan zirconia yang berwarna coklat muda. Pada zirkon MERCK berwarna putih seperti gambar:



Gambar 22. Hasil Zirkon MERCK dan Zirkon

Dari hasil dapat dilihat perbedaan yang cukup signifikan yaitu warna pada zirkon, dimana zirkon MERCK memiliki warna yang putih bersih dan sedangkan pada zirkon sintesis yang telah dilakukan memiliki warna putih kecoklatan seperti pada gambar. Hal ini dapat dilihat pada hasil yang didapat analisis XRF dimana pada zirkon MERCK tidak terdeteksi besi (Fe) dan titanium (Ti) atau hanya memiliki kadar yang kecil. Sedangkan pada zirkon sintesis dilihat pada gambar. Berwarna putih kecoklatan hal ini dikarenakan terdapat kadar besi Fe_2O_3 sebanyak 0,909% dan TiO_2 sebanyak 6.311%.

5.4.2 Variasi sampel

Waktu pada suhu 1000°C	Mineral	Kuantitas (%)
2 Jam	ZrO_2	78.61%
3 Jam	ZrO_2	78.25%
4 Jam	ZrO_2	77.28%
5 Jam	ZrO_2	77%
6 Jam	ZrO_2	76.61%

Table 7. Data XRD variasi waktu pada suhu 1000°C

2 jam pada suhu	Mineral	Kuantitas (%)
600°C	ZrO ₂	76.42%
700°C	ZrO ₂	76.59%
800°C	ZrO ₂	77.58%
900°C	ZrO ₂	78.23%
1000°C	ZrO ₂	78.61%

Table 8. Data variasi suhu pada waktu 2 jam

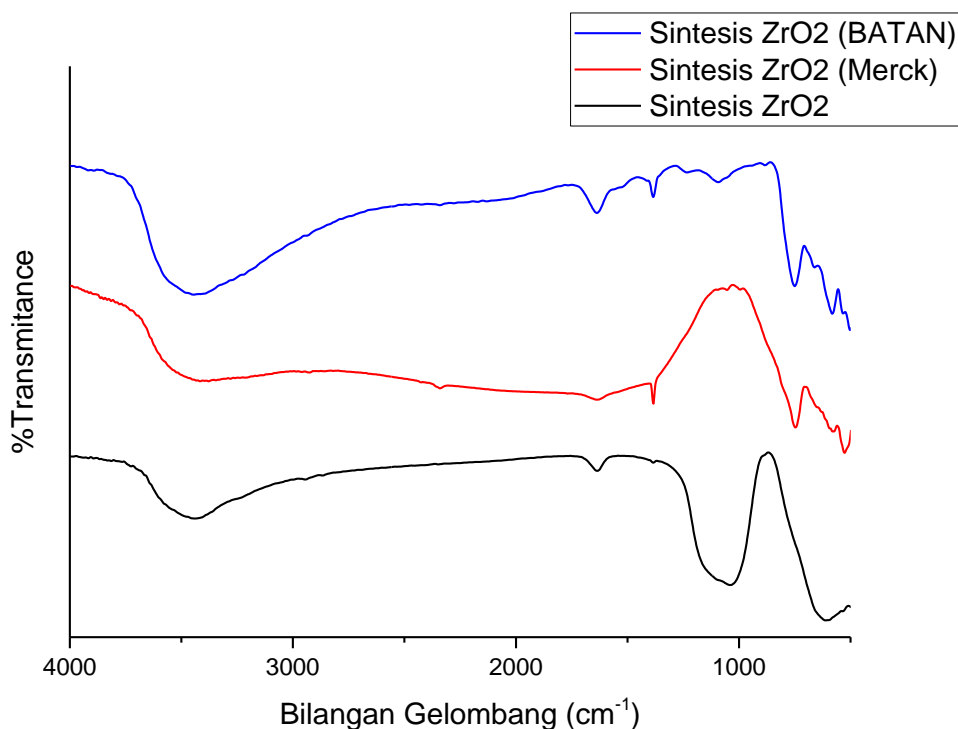
Pada sintesis zirkon yang dilakukan dimana pada proses kalsinasi dilakukan variasi suhu dan waktu sampel, hal ini dilakukan karena pada literatur terdapat perbedaan yaitu pada literatur A dilakukan pada suhu 800°C pada waktu 5 jam dan Literatur B dilakukan pada suhu 700°C pada waktu 3 jam, dilakukannya variasi ini untuk mendapatkan hasil yang optimal. Hasil dari variasi sampel yang dilakukan didapatkan suhu dan waktu optimal pada suhu 1000°C pada waktu 2 jam didapat kadar zirkon 78.609% hal ini dikarenakan perbedaan suhu pada lokasi analisis dan alat yang digunakan untuk analisis pada literatur. Dilihat dari Tabel 7 pengaruh waktu terhadap kandungan atau presentase zirconia pada penambahan waktu hingga 6 jam mengalami penurunan dikarenakan semakin lama waktu kalsinasi maka akan menghasikan energy panas yang berlebihan sehingga menyebabkan reaksi berlangsung terlalu tinggi dan akan berakibat pada turunnya kandungan zirconia pada sampel.

Suhu kalsinasi merupakan salah satu factor penting dalam proses sintesis pada katalis. Suhu kalsinasi 1000°C - 600°C sama-sama memberikan pengaruh terhadap sifat katalitik dari katalis pengeristalan ZrO₂. Namun diantara suhu tersebut, suhu kalsinasi 1000°C adalah suhu optimum pada proses pengeristalan ZrO₂, dapat dilihat pada table 8 dimana semakin naik suhu dari 600°C-1000°C maka semakin naik pula kadar ZrO₂.

5.4.3 Spectroscopy FTIR

Pada penelitian ini sintesis zirkon dilakukan karakterisasi dengan menggunakan spectroscopy FTIR. Karakterisasi ini bertujuan untuk membandingkan zirconia sintesis dengan zirkon pabrikan. Dilakukan karakterisasi

pada sintesis Zirkon buatan, zirkon batan dan zirkon merck. Maka didapatkan hasil sebagai berikut :

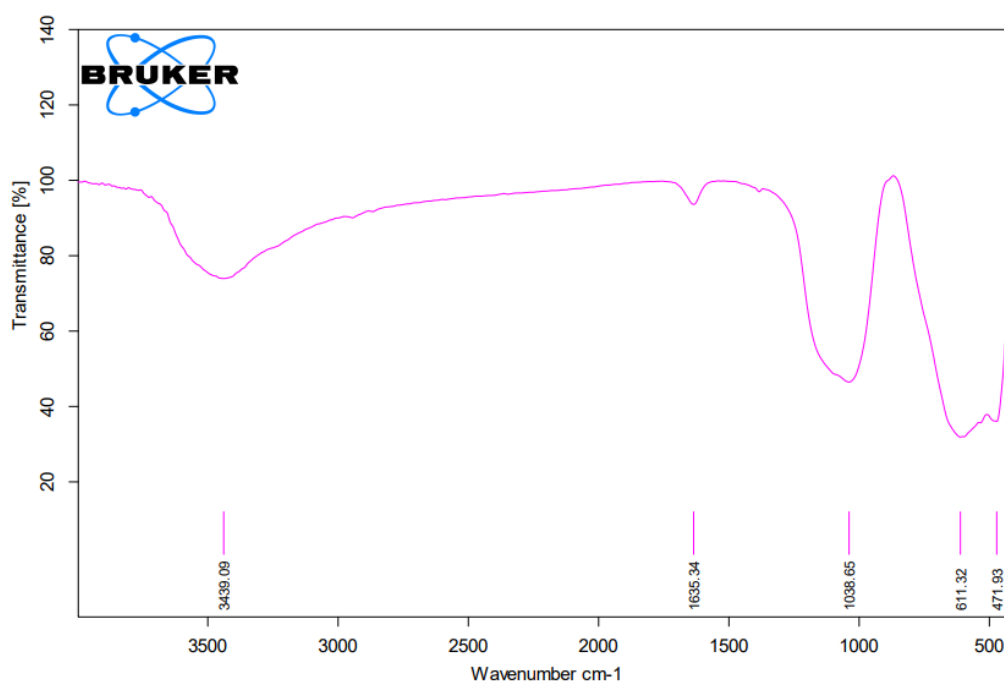


Gambar 23. Spektra FTIR Sintesis Zirkon, Zirkon Batan dan Zirkon Merck

Spektra FTIR yang tersaji dari kedua sampel Batan dan MERCK serbuk zirkon sama sama memiliki serapan direntang panjang gelombang 500-800 cm⁻¹ hal itu menandakan terdapat vibrasi bending dari Zr-O (H.S. Lim, A. Ahmad and pada rentang bilangan gelombang 500-800 cm⁻¹ yang juga menandakan terdapatnya serapan gelombang dari Zr-O dengan vibrasi bending. Dua puncak tersebut berada di 500.26 dan 748.93 cm⁻¹, dimana menurut Duyeh dan Fuji (2017) pada rentang tersebut Zr-O berada dala fase monoklinik (m-ZrO). H. Hamzah, 2013).

Kedua sampel diatas menyajikan hasil spektra yang hampir sama, dimana monoklinik ZrO (m-Zr-O) terdeteksi didalam panjang gelombang yang tidak

terlampau berbeda pada zirkon batan dan zirkon MERCK. Serta memang terdapat senyawa zirkonia yang memunculkan puncak di rentang panjang gelombang 500-800 cm^{-1} , yaitu senyawa yang terbentuk dari unsur zirkonium teroksidasi pada sampel yang diujikan, menandakan bahwa proses sintesis yang dilakukan berhasil mensintesis zirkonia. Pada sintesis zirkonia Batan terdeteksi monoklinik ZrO (m-Zr-O) pada panjang gelombang 750.16 cm^{-1} , sedangkan zirkonia MERCK terdapat pada panjang gelombang 746.88 cm^{-1} .



Gambar 24. Spektra FTIR Sintesis Zirkon

Pada Gambar 22. hasil analisis menggunakan instrument FTIR terdapat perbedaan pada hasil sintesis yang telah dilakukan dengan hasil sintesis zirkon batan dan zirkon MERCK. Dimana terdapat perbedaan pada serapan direntang panjang gelombang 1100 cm^{-1} menandakan adanya pengotor atau senyawa lain yang terdeteksi yaitu serapan C-O. Diperkirakan panjang gelombang sekitar 1.000 cm^{-1} dapat disimpulkan karakteristik vibrasi ulur Ti-O (Nam et al., 2012). Penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa masih terdapat pengotor yang mengandung Ti cukup besar pada serbuk zirkonia. Terdapat panjang gelombang dengan puncak terendah pita serapan antara 1.627 cm^{-1} adalah karakteristik vibrasi

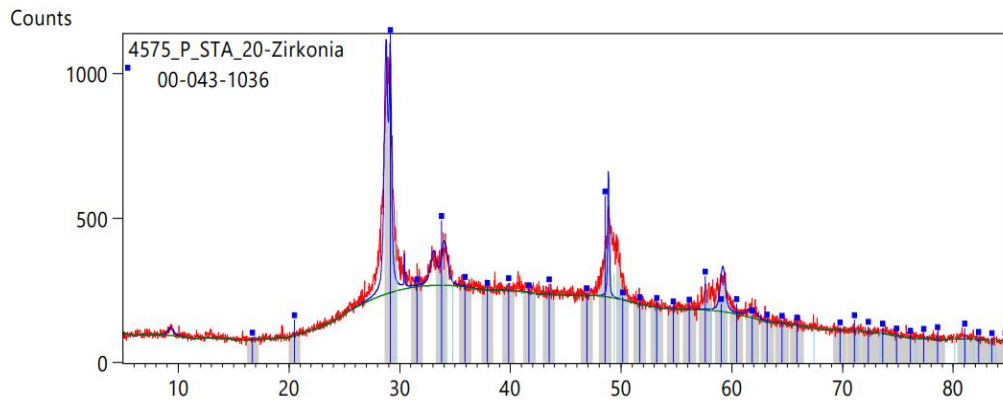
gugus -OH pada $Zr(OH)_4$ (Stoia et al., 2013). Panjang gelombang sekitar 1.250 hingga 1.650cm^{-1} sesuai dengan vibrasi tekuk Zr-OH (Isfahani et al., 2012). Pada zirkonia sintetik terdapat struktur ZrO_2 yang ditunjukkan pada bilangan gelombang serapan $511,8\text{cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ikatan t-Zr-O (fase tetragonal).

5.4.4 X-Ray Diffraction (XRD)

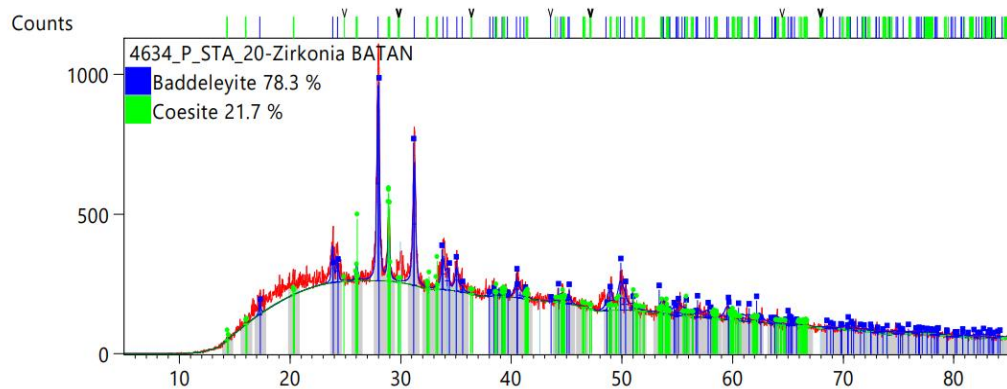
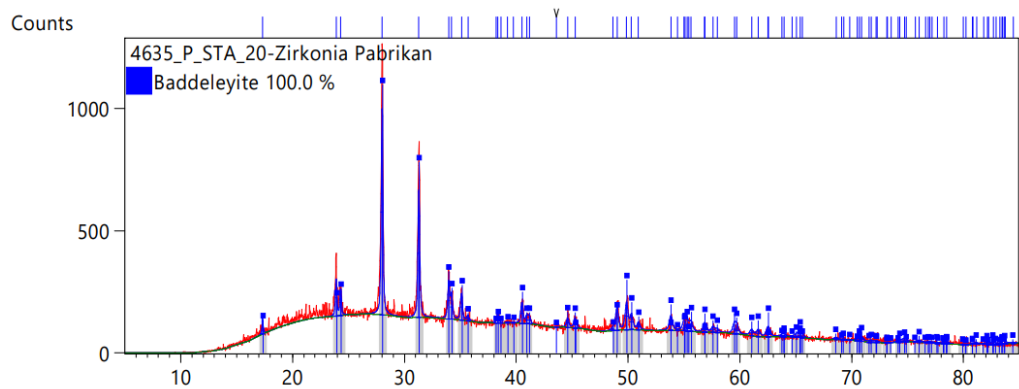
Karakterisasi menggunakan XRD pada sampel serbuk nano zirkonia akan memperkuat beberapa hasil karakterisasi dari instrumen-instrumen sebelumnya dimana hasil karakterisasi XRD akan menyajikan data yang berbeda dan menjadikan beberapa karakter analisis nano zirkonia akan diketahui sesuai atau tidak sesuai dengan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Difraktogram merupakan hasil dari karakterisasi menggunakan instrumen XRD, difraktogram yang dihasilkan menyajikan informasi puncak-puncak sudut difraksi 2θ , dimana sudut difraksi 2θ dapat digunakan untuk mengetahui perubahan jarak interlayer dan kristalinitas dari materi yang terbentuk.

Berdasarkan hasil instrumen XRF yang telah didapat, dari semua variabel yang dianalisa senyawa ZrO_2 paling banyak persentasenya berada diproses sintesis zirkonia pada suhu 1000°C pada waktu 2 jam zirkon PSTA BATAN sebesar 78.609% dan MERCK sebesar 94.216%. Pada analisis dengan menggunakan instrumen XRF terjadi kesalahan dimana terdapat data yang hilang dari hasil analisis, maka tidak dapat ditentukan ukuran dari kristal zirconia dan tidak didapatkan hasil puncak intensitas difraktogramnya.

Date: 12/12/2020 Time: 9:25:11 AM File: 4575_P_STA_20-Zirkonia User: Dell



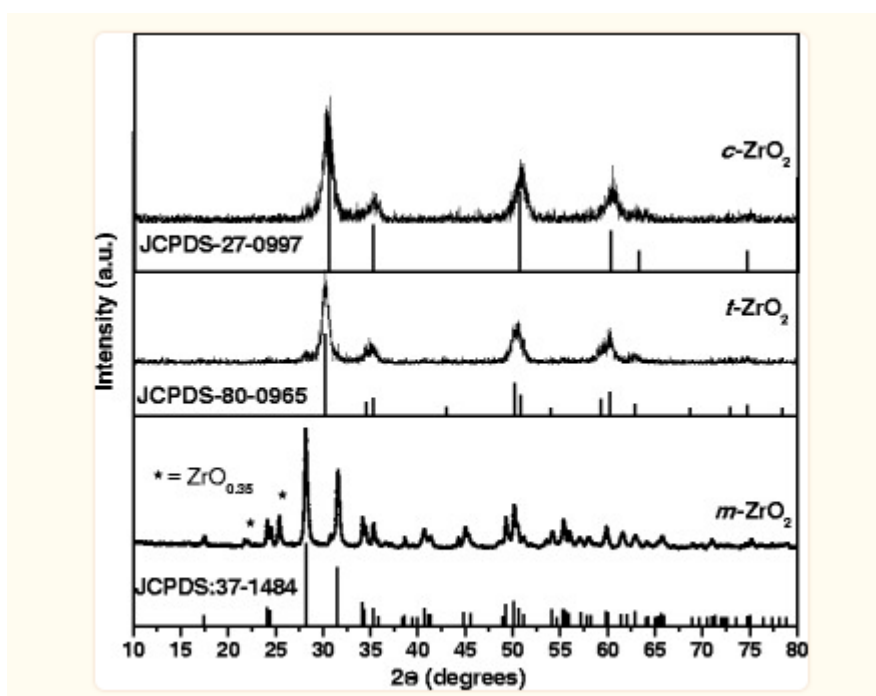
Gambar 25. XRD Zirkonia Sintesis



Gambar 26. XRD zirconia MERCK dan Batan

Difraktogram yang dimiliki sampel PSTA BATAN memunculkan dua puncak yang intensitasnya cukup tinggi, dapat dilihat dari difraktogram difraksi antara Batan dan Merck memiliki bentuk yang hampir sama. Zirkonia memiliki

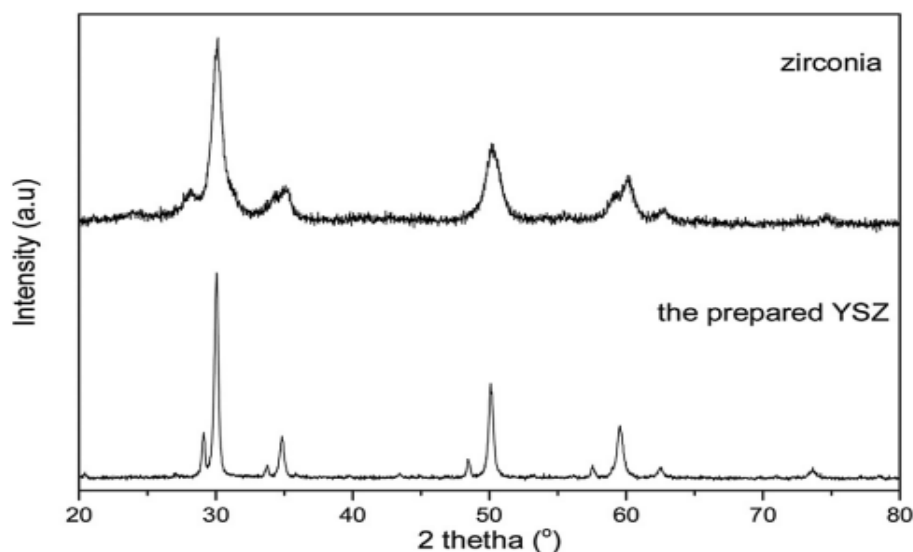
struktur kristalografi yang berbeda-beda, karakteristik ini sering dikenal sebagai poliforfisme. Zirkonia memiliki tiga bentuk struktur kristalografi yaitu monoklinik, tetragonal dan kubik, difraktogram difraksi sinar X yang didapat kemudian dianalisis, dapat disimpulkan bahwa titik 2theta pada zirkon MERCK dan Batan yang mengindikasikan kristal monoklinik dilihat dari referensi gambar (26) (Sulaiman, N. dkk, 2015), Titik 2theta adalah puncak ZrO_2 . Dilihat dan dibandingkan dengan referensi lain dapat diketahui puncak difraksi tertinggi menunjukkan hasil yang didapat berbentuk kristal.



Gambar 27. Difraktogram XRD JCPDS (Sulaiman dkk, 2015)

Pada hasil zirkon sintesis didapatkan puncak difraksi tinggi yang melebar dimana hasil tersebut dapat dilihat dari hasil analisis XRD pada gambar (24) terdapat puncak difraktogram difraksi. Maka zirkonia sesuai dengan referensi pada JCPDS 80-0965 gambar (26) menunjukkan pola difraksi intensif pada 2θ (θ) $30,3^\circ$, $35,14^\circ$, $50,48^\circ$ dan $60,2^\circ$, maka hasil sintesis mengkristal dalam tetragonal dan monoklinik. Pada hasil ini terjadi pergeseran puncak intensitas atau pada 2θ (θ) hal ini dimungkinkan difraksi tinggi dapat disimpulkan bahwa kristal yang terbentuk sangat kecil atau zirkonia yang terbentuk belum sempurna dan terdapat

banyak pengotor. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil XRF yang telah didapatkan dimana dari ketiga hasil analisis didapatkan bahawa senyawa yang teridentifikasi zirkon sintesis masih memiliki senyawa SiO_2 , Fe, Ti yang seharusnya hilang dari proses kalsinasi dan dilindi, terdapat juga senyawa pengotor yang lain yang tidak terdapat pada zirkon MERCK dan Batan. Sintesis zirkonia agar terbentuk kristalisasi dengan baik maka ion OH^- dilakukan pemanasan hingga hilang (Hesmatpour dan Aghakanpour, 2012). Banyaknya ion OH^- pada sampel mengakibatkan kristalisasi yang terbentuk kurang sempurna yang dikalsinasi pada temperatur kalsinasi variasi 1000°C , 900°C , 800°C , 700°C , 600°C pada variasi 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Hasil dari 1000°C hingga 2jam, yang diakibatkan dari ikatan gugus $-\text{OH}$ ataupun molekul air diduga masih berikatan dengan sampel. Menurut 48 studi yang dibutuhkan oleh Guo et al, zirkonia yang berbentuk amorf yang didapatkan pada analisis XRD menunjukkan proses dehidrasi kurang sempurna dari molekul air masih berikatan dengan zirkonium hidroksida (Guo et al., 2004). Hal ini diperlukan pemanasan dengan temperatur tinggi atau waktu penahanan hingga lama untuk menghilangkan atau mengurangi ion OH^- supaya kristaliras tinggi dan terbentuk kristal zirkonia tetragonal dengan kerapatan yang baik. Dari hasil analisis didapatkan kadar zirconium paling tinggi pada suhu 1000°C pada waktu 2 jam hal ini sesuai dengan pernyataan (Maghfirah, 2007) dimana fasa kristal monoklinik dan tetragonal tergolong tidak stabil pada kisaran temperature 1000°C - 1100°C , karena pada kisaran temperature tersebut terjadi transformasi fasa dari monoklinik ke tetragonal (reversible) sehingga didapat menimbulkan perubahan volume (3-5%). Hal ini berakibat akan terjadi keretakan mikro (micro crack), apabila retak tersebut menjalar maka dapat menimbulkan kerusakan pada material. Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan dhasil zirkonia fase tetragonal walau tanpa dopam. Dari hasil yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa zirconia memiliki bentuk kecil (Judes, 2009). Garvie menyebutkan fase tetragonal pada zirkonia yang stabil dikarenakan ukuran partikel, oleh karena energi permukaan fase tetragonal yang lebih kecil dari fase monoklinik (Isfahani et al., 2012).



Gambar 28. Pola Difraksi Zirconia dan YSZ (Rahmawati, 2019)

Dari hasil sintesis zirconia memiliki kesamaan dengan penelitian dengan jurnal (Rahmawati, 2019) dimana dilakukan percobaan dengan menggunakan metode alkali fusion didapatkan mengkristal dalam tetragonal $P42/NM$ dan monoklinik $P21/C$.

5.4.5 LCR Meter

Dilakukan analisis menggunakan LCR Meter untuk mengetahui kandungan konduktivitas pada sintesis Ytria Stabilized Zirconia, digunakannya zirconia dikarenakan dapat digunakan sebagai elektrolit padat dan elektroda dalam sel bahan bakar oksida padat. Elektrolit padat zirconia yang telah dilakukan penstabilan seperti Ytria-Stabilized Zirconia (YSZ) dimanfaatkan dalam aplikasi solid oxide fuel cell (SOFC) (Rahmawati, 2012; dan Syarif et al., 2013). Didapatkan hasil yaitu:

Kode Sampel	YSZ	Konduktivitas, (S./cm)
1	98 %mol ZrO_2 : 2 %mol Y_2O_3	2,1281E-08
2	96 %mol ZrO_2 : 4 %mol Y_2O_3	2,8327E-08
3	94 %mol ZrO_2 : 6 %mol Y_2O_3	3,0584E-08

4	92 %mol ZrO ₂ : 8 %mol Y ₂ O ₃	1,0186E-07
5	90 %mol ZrO ₂ : 10 %mol Y ₂ O ₃	1,8260E-07

Table 9. Analisis LCR Meter Pada YSZ

Kode Sampel	YSZ	Konduktivitas, (S./cm)
1	98 %mol ZrO ₂ Merck : 2 %mol Y ₂ O ₃ Merck	1,3074E-08
2	96 %mol ZrO ₂ Merck : 4 %mol Y ₂ O ₃ Merck	2,1807E-08
3	94 %mol ZrO ₂ Merck : 6 %mol Y ₂ O ₃ Merck	2,6552E-07
4	92 %mol ZrO ₂ Merck : 8 %mol Y ₂ O ₃ Merck	8,9970E-07
5	90 %mol ZrO ₂ Merck : 10 %mol Y ₂ O ₃ Merck	1,1625E-06

Table 10. Analisis LCR Meter Pada YSZ MERCK

Digunakannya LCR meter adalah untuk mengetahui nilai konduktivitas suatu sampel yang telah disintesis. Pada penelitian ini didapatkan konduktivitas ionik masing-masing pelet yang di tunjukkan pada table (9) dan table (10). Dihasilkan konduktivitas ionik yang didapatkan dari dua komposisi yttria meningkat. Hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan bebas ion O²⁻ akibat kenaikan suhu menyebabkan energi bagi ion tersebut bergerak bebas. Menaikkan suhu membuat energi meningkat supaya ion dapat bergerak dan mengakibatkan kenaikan pula pada konduktivitas ionik. Pada penelitian secara umum nilai konduktivitas yang didapatkan yaitu 10⁻⁸ hingga 10⁻⁶ S/cm. Namun dari hasil yang didapatkan memiliki konduktivitas dikisaran 10⁻⁶ sampai 10⁻⁸ S/cm dapat disimpulkan kristal yang terbentuk baik. Nilai konduktivitas ion komposisi 10% mol yttria lebih besar dibandingkan dengan 2% mol yttria. Ini bisa jadi karena peningkatan transformasi fasa dari zirkonia monoklinik menjadi YSZ kubik karena peningkatan jumlah yttria yang ditambahkan ke zirkonia murni. Dari hasil analisis merek pabrikan (MERCK) memiliki kesamaan dengan zirkonia sintesis dengan kadar yttria bertambah maka bertambah pula konduktivitasnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sintesis dapat dilakukan dengan metode fusi kuastik, dilakukan proses sintesis dari pasir zirkon menjadi zirconium. Kemudian dilakukan analisis instrume XRF zirconium MERCK yaitu 94.216%, zirconium Batan 88.433% dan hasil analisis 78.609%. analisis instrument FTIR didapatkan serapan direntang panjang gelombang 500-800 cm^{-1} hal itu menandakan terdapat vibrasi bending dari Zr-O. Instrument XRD didapatkan hasil berupa bentuk kristal dari zirconium MERCK yaitu monoklinik dan pada hasil analisis didapatkan bentuk kristal tetragonal.
2. Pada metode fusi kuastik ini dilakukan beberapa variasi pada proses kalsinasi dengan suhu 600, 700, 800, 900 dan 1000 pada variasi waktu pada setiap suhunya yaitu 2, 3, 4, 5 dan 6 jam hal ini bertujuan untuk menentukan waktu dan suhu optimal dalam pengeristalan zirconium dikarenakan pada setiap tempat atau wilayah memiliki suhu yang berbeda beda dan juga memiliki alat untuk sintesis yang digunakan berbeda beda. Didapatkan suhu optimal pada sintesis pada suhu 1000°C pada waktu 2 jam dengan hasil kandungan zirkon yaitu 78.609% dengan analisis XRF.
3. Sintesis Yttria Stabilized Zirconium (YSZ) dilakukan dengan metode *Solid-State Reaction* proses pepaduan dengan penggerusan memiliki kelebihan yaitu relatif sederhana. Dari hasil analisis YSZ yang telah dilakukan dengan instrumen LCR Meter didapatkan hasil yaitu semakin banyak penambahan Yttria maka konduktivitas pada sampel akan meningkat.

6.2. Saran

1. Perlu dikaji lagi pembuatan zirkonium agar tujuan pembuatan zirkonium memiliki kualitas yang lebih baik, dengan memiliki ukuran rata-rata partikel dan persebaran ukurannya homogen.
2. Alangkah lebih baiknya sebelum disintesis menjadi zirkonium, Pasir zirkon bahan baku dipelajari kandungan ZrO supaya dapat diketahui keefektifan dari sistem sintesis yang diterapkan.
3. Dalam melakukan pelindian air, asam klorida dan kristalisasi ZOC dengan ditambahkan NH_4OH 3M dilakukan pengecekan pH larutan precursor.
4. Dalam sintesis YSZ dilakukan analisis lain seperti XRD, XRF dan FTIR untuk melihat apakah sudah terbentuk sintesis YSZ dan berapa kadarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkader, A. M., Daher, A., dan El-Kashef, E., 2008, "Novel Decomposition Method for Zircon", *J. of Alloys and Compounds*, vol. 460, hal 577– 580.
- Barve, S. A., Jagannath, N. M., Deo, M. N., Biswas, A., Mishra, R., Kishore, R., Bhanage, B. M., Gantayet, L.M., Patil, D.S., 2011, Pengaruh suhu penguapan prekursor pada sifat film tipis yttrium oksida yang diendapkan oleh plasma resonansi siklotron elektron gelombang mikro dengan bantuan deposisi uap kimia organik logam, *Film Padat Tipis* 519; 3011–3020.
- Benjamin, M. MA., 1983, " Nuclear Reactor Materials and Applications ", Van Nostrand Reinhold Co., New York, pp. 299-307.
- Boaro, M., VOHS, J. M., dan GORTE, R. J., 2003, Synthesis of Highly Porous YttriaStabilized Zirconia by Tape-Casting Methods, *Journal of American Ceramics Society*, 86 (3): 395-400, 2003.
- Caffarena, V.R., Ogaswara, T., Pinho, M.S., dan Capitaneo, J.L., 2006, Samarium-Iron Garnet Nanopowder Obtained by Co-Precipitation, *Latin American Applied Research*, vol. 36, hal. 137-140.
- Callister, 2007, *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Seventh Edition. John Wiley & Sons Inc; New York.
- Cameron, C., 2017, Worldwide Market for Zirconium to Reach 2.6 Million Metric Tons by 2017, *Ceramic Industry*, pp. 1–12.
- Cardarelli, G., 2008, *Materials Handbook: A Concise Desktop Referenc*, Edisi 2, Springer Science & Business Media; London.
- Dutra, A. J. B., Silva, R.J.F.D., dan Afonso, J.C., 2012, Alkali Fusion Followed by a Two-Step Leaching of a Brazilian Zircon Concentrate, *Hydrometallurgy*, vol. 117-118, hal. 94-100.
- Earnshaw, A, 1997, *Chemistry of The Element* 2nd Edition, Elsevier; New York.

- Firdos, I. A., 2016, Modifikasi Ca-Bentonit menjadi Organo-Bentonit dengan Penambahan Albumin sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Asam Lemak Bebas pada Minyak Goreng Bekas, Universitas Negeri Semarang; Semarang.
- Forrest, R., Tabasso, A., Danani, C., Jakhar, S., and Shaw, A., 2009, dalam: Handbook Data Aktivasi Dihitung Menggunakan EASY-2007, UKAEA FUS; hal. 552.
- Gaboriaud, R. J., Paumier, F., Jublot, M., and Lacroix, B., 2013, Mekanisme transformasi fase yang diinduksi iradiasi ion dalam Y_2HfO_3 film tipis, Nucl. Instrumen. Metode Fis. Res. Detik. B Vol (311); 86–92.
- Gessi, A., and Beniamati, G., 2008, Corrosion Experiments of Steels in Flowing Pb at 500°C and in Flowing LBE at 450°C, J. of Nuclear Materials. 76(3): 269-273.
- Giwangkara, S.E.G., 2006, *Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy Pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah -Transformasi Fourier (FT-IR)*, Tinggi Energi dan Mineral; Cepu Jawa Tengah.
- Handini, T., Bambang, E. H. B., dan Sukamajaya, S., 2017, Ekstraksi Y, Dy, Gd dari Konsentrat Itrium Dengan Solven TBP dan D2EHPA, Jurnal Ipek Nuklir Genendra, Yogyakarta, 20, 1410- 6957.
- Handini, T., Suprihati, Sukmajaya, S., 2012, Pembuatan Zirkonil Nitrat dari Zirkon Oksiklorid Untuk Umpan Ekstraksi Zr-Hf Dengan Mixer-Settler (MS). PSTA – BATAN; Yogyakarta.
- Hendriyati, E., 1988, Analisis Unsur-Unsur Tanah Jarang Dalam Zirkonium Sulfat dengan Cara Spektrografi Emisi. IKIP; Yogyakarta.
- Herman, D. Z., 2007, Kemungkinan Sebaran Zirkon pada Endapan Placer di Pulau Kalimantan, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 2 pp. 87-96

- Hikmah, N., 2012, Pengaruh konsentrasi zirkonium oksidkloride (ZOC), konsentrasi asam sulfat dan waktu pengendapan terhadap konversi pembentukan zirkonium berbasis sulfat (ZBS). Universitas Negeri Yogyakarta; Yogyakarta
- Huang, C., Tang, Z., dan Zhang, Z., 2001, Differences Between Zirconium Hydroxide ($Zr(OH)_4 \cdot nH_2O$) and Hydrous Zirconia ($ZrO_2 \cdot nH_2O$), *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 84, no. 7, hal. 1637-1638.
- Ismunandar, 2006, *Padatan Oksida Logam, Struktur, Sintesis dan Sifat-sifatnya*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Jenkin, R., Gould, R. W., and Gedcke, D., 1995, *Quantitative X-Ray Spectrometry*, Second Edition, Marcel Dekker; English.
- Kim, H., 2004, Low Temperature Sintering of Nanosized Ceramic Powder: YSZ-Bismuth Oxide System, *Disertasi*, The Ohio State University, Columbus, USA.
- Knodler, D., 1987, Technology of Zirconium Alloys for Cladding Tubes of Water Cooled Fuel Assemblies, *Kerntechnik*, 50, pp. 255-265.
- Kurapova, O.Y., dan Konakov, V.G., 2014, Phase Evolution In Zirconia Based Systems, *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol.36, hal. 177-190.
- Lister, B. A. J., and Donald, L. A. M., 1952, Zirconium. *J Chem Soc.* Pp.4315-4330.
- Liu, R., Qu, J., Song, J., Qi, T., dan Du, A. (2014), "Analysis of Water Leaching and Transition Processes in Zirconium Oxychloride Octahydrate Production", *Ceramics International*, vol. 40, hal. 1431-1438.
- LUSTMAN, B., 1955, *The Metallurgy of Zirconium*. Mc Graw Hill BookCompany Inc, New York.
- Maghfirah, A., 2007, Pembuatan Keramik Paduan Zirkonia (ZrO_2) dengan Alumina (Al_2O_3) dan Karakterisasinya. Tesis, Jurusan Fisika Universitas Sumatra Utara; Medan.

- Malvern Instrumets Limited. 2012. A Basic Guide to Particle Characterization. Tersedia di <http://www.malvern.com> [diakses 29-3-2018].
- Manhique, A., 2003, Optimisation of alkali-fusion process for zirkon Sans: A Kinetic Study of The Process. *THESIS*, Departement of Chemistry Faculty of Natural and Agricultural Sciences; Afrika.
- Marzuarman, Asfe, D. H., dan Amri, S., 2020, Rancang Bangun Alat Ukur LCR Meter Berbasis Arduino Uno, Politeknik Negeri Bengkalis: Bengkalis.
- Mikranto, E., Yunus, R., Wahyuliani, G., Qomariah, N., Amin, R., dan Wardani, M., 2018, Ekstraksi Zirkon (ZrO_2) dari Pasir Zirkon Katingan Sebagai Prekursor Sintesis Oksida Pirovskit $SrZrO_3$, Universitas Lambung Mangkurat; Banjarmasin.
- Misnawati, I., 2006, Analisis Pengaruh Non Performing Financing (NPF) dan Capital Adequency Ratio (CAR) terhadap Return On Equity (ROE) pada Bank Umum Syariah, IAIN: Walisongo Semarang.
- Moch, R., 2015, Pengadukan dalam Proses Koagulasi - Flokulasi, Chemistry Environment.
- Motlagh, M. M. K., Maghsoudipor, A., Gorjanil, L. M., dan Hashemazadeh, F., 2011, Synthesis and characterization of cubic yttria-stabilized zirconia (8YSZ) nanoparticles by a modified sol-gel route using sucrose and pectin as organic precursors, *International Journal of Physical Science* 6 (10): 2518-2525.
- Muksin, I., Karangan, C., Setiawan, W., dan Agung, L. N., 2014, Prospeksi Zirkon, Pasir Kuarsa dan Kaolin di Kabupaten Bangka Tengah, Pusat Sumber Daya GeologProvinsi; Kepulauan Bangka Belitung.
- Mufida, N. N., 2013, Makalah Unsur Transisi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi; Sukabumi.

- O'Connor, B. H., dan Valentine, T. M., 1969, Sebuah studi difraksi neutron dari struktur kristal bentuk-C yttrium sesquioxide, *AcCrB Vol (25)*; 2140–2144.
- Pakpahan, J. K., 2016, STUDI KONDUKTIVITAS LISTRIK ZEOLIT AKIBAT PENGARUH MIKROSTRUKTUR DAN LUAS PERMUKAAN SPESIFIK SERTA POTENSINYA SEBAGAI ELEKTRODE SUPERKAPASITOR, Universitas Lampung; Lampung.
- Paton, M.G., and Maslen, E. N., 1965, Penyempurnaan struktur kristal yttria, *Acta Crystallogr. Vol (19)*; 307–310.
- Peraturan Menteri ESDM, 2017, No. 5 Tahun 2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian, *JDIH BPK RI NO. 5, BN 2017/ NO 98; PERATURAN.GO.ID : 20 HLM.*
- Poernomo, H., 2012, Informasi Umum Zirkonia, Badan Tenaga Nuklir Nasional Pusat Teknologi Akselerator dan Poses Bahan; Yogyakarta.
- Poernomo, H., 2012, Informasi Umum Zirkonium, *Nanotechnology and Materials : Yogyakarta.*
- Rahmawati, F., Zuhri, N., Nugrahanityas, K. D., dan Arifah, S. K., 2019, Film Yttria-Stabilized-Zirconia (YSZ) yang Dihasilkan dari Bubur Nano-YSZ Berair: Persiapan dan Karakterisasi, Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Rahmawati, F., 2012. *Zirconia-LSGM Based Material as Electrolyte for SOFC.* LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG.
- Rana, P.R., Pratihari, S.K, dan Bhattacharyya, S., 2007, Powder Processing and Densification Behaviour of Alumina – High Zirconia Nanocomposites Using Chloride Precursors, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 190, issues 1-3, hal. 350-357.
- Republik Indonesia, 2009, Pertambangan Mineral dan Batubara, *JDIH BPK RI, LN. 2009/ No. 4 , TLN NO. 4959, LL SETNEG : 59 HLM.*

- Republik Indonesia, 2015, Perubahan atas Peraturan Menteri ESDM Nomor Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri, JDIH BPK RI, BN 2015/ NO 349; JDIH ESDM.GO.ID : 8 HLM.
- Rivai, A. K., Munggara, G. P. D., dan Fitriyani, D., 2014, Sintesis Yttria Stabilized Zirconia dengan Metode Pemanduan Mekanik untuk Bahan Sensor Oksigen Reaktor Nuklir, Batan: Tangerang Selatan.
- Rivai, A. K. dan Takahashi, M., 2010, Investigations of a Zirconia Solid Electrolyte Oxygen Sensor In Liquid Lead, Journal of Nuclear Materials, Vol. 398, No.1, Elsevier, hal. 160–164.
- Rivai, A. K., Kumangai, T., dan Takahashi, M., 2008, Performance of oxygen sensor in lead–bismuth at high temperature, Progress in Nuclear Energy, 50: 575-581.
- Rivai, A. K., dan Takahashi, M., 2007, Design Study of Small Lead-Cooled Fast Reactor Cores Using SiC Cladding and Structure”, J. Power and Energy Systems Vol. 1 No. 2 , 134-142.
- Roop, R. C., 2003, *Solid State Chemistry*, Elsevier, Netherland.
- Routray, S., Padhi, L.N., Bera, T., 2014, Recovery of Zircons of South Eastern Coast of India Their Potential as Refractories and Ceramics”, International J. of Mechanical Engineering and Technology, Vol 5, Issue 5, pp 73-82.
- Sajima and Setyadi, M., 2015, Optimasi Proses Pelindian pada Pengambilan Uranium dan Thorium dalam Pembuatan Zircon Opacifier ($ZrSiO_4$), *J. Teknologi Bahan Nuklir*, 11(2), 113–123.
- Sarjono, Etty, M., Erilia, Y., dan Winter, D., 2020, Pengaruh Metode Preparasi Broth dan Jenis Prekursor Zirkonium pada Karakterisasi Kernal Yttria-Stabilized-Zirconia (YSZ). Tangerang Selatan : Batan.

- Senyan, H., Silalahi, I. H., dan Harlia, 2013, Pengaruh Variasi Massa Natrium Hidroksida pada Pembuatan Zirkonium Oksida dari Pasir Mineral Zirkon Asal Mandor Kabupaten Landak. *JKK*, 2(3): 157-162.
- Shackelford, J. F. dan Doremus, R. H., 2008, *Ceramic and Glass Materials Structure, Properties and Processing*, Springer; New York.
- Shakthinathan, G., Raju, S., dan Chandrasekaran, U., 2012, Thermal Characteristics of Ytria Stabilized Zirconia Nanolubricants, *Thermal Science*, Vol. 16, No. 2, hal. 481-487.
- Schechter, G., 1997, Analysis Of The Orientational Effects On Infrared Absorption Spectra In P-Type Semiconductor Quantum Wells. *Superlattices and Microstructures*, Volume 19, Issue 4, 383–392.
- Sarjono, Ety, M., Erilia, Y., dan Winter, D., 2020, Pengaruh Metode Preparasi Broth dan Jenis Prekursor Zirkonium pada Karakterisasi Kernal Ytria-Stabilized-Zirconia (YSZ). Tangerang Selatan : Batan.
- Sudarto, Kallista, D., Hermawan, D., 2008, Kajian teknis aspek pengawasan bahan nuklir dalam pasir zirkon. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Instalasi Bahan Nuklir.2* : 30-38.
- Sudjoko, D., dan Triyono, 2008, PENINGKATAN KUALITAS ZIRKONIA HASIL OLAH PASIR ZIRKON. PSTA-BATAN Yogyakarta. GANENDRA, Vol. XI, No. 1.
- Sukirno, S., 2003, *Makro Ekonomi Modern*, Penerbit PT. Raja Grafindo Perkasa; Jakarta.
- Suryanarayana, C., dan Norton, M.G., 1998, *X-ray Diffraction*, Plenum Press: New York.

- Sulaiman, N. B., Tarek, T. A., Mohammad, M., dan Katabathini, N., 2015, Pengaruh Struktur Kristal ZrO_2 Berukuran Nano Pada Degradasi Fotokatalistik Metil Jingga, *Nanoscale Res Lett* > Vol. 10;2015 10:73.
- Sulistiyono, E., dan Sajuti, D., 1996, Pemurnian Zirkon untuk Bahan Dasar Refraktori Berbasis Zirkonia, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi*, hal. 41-49.
- Syarif, D. G., Soepriyanto, S., Ismunandar., and Korda, A. A., 2013, Effect of LSGM Addition on Electrical Characteristics of 8YSZ Ceramics for Solid Electrolyte, *J. of The Australian Ceramic Society* 49, 52-59.
- Syarif, D. G., Soepriyanto, S., Ismunandar dan Korda, A., 2010, Synthesis Of YSZ Ceramics for Solid Electrolyte by Tape Casting Utilizing Local Zircon: A Preliminary Study, *J. Proceedings of the Third International Conference on Mathematics and Natural Sciences* Vol; 1321-1331.
- Taftazani, Agus, 2017, *Diktat Kuliah Kimia Instrumental 2: X-Ray Diffractin*, Universitas Islam Indonesia; Yogyakarta.
- Taftazani, Agus, 2017, *Diktat Kuliah Kimia Instrumental 2: Surface Area & Pore Size Distribution*, Universitas Islam Indonesia; Yogyakarta.
- Tonejc. A., Farrants, G. W., dan Hovmollerc, S., 1999, Evidence of Mechanical Alloying in Ball Milled ZrO_2 - Y_2O_3 System Based on HRTEM Image Processing Analysis, *J. Croatica Chemica Acta*, Vol. 72, No. 2-3, hal 311-326.
- U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, 2002, *A Technology Roadmap For Generation IV Nuclear Energy Systems*, U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, GIF-002-00, 27-32.
- Von dan Havesy, G., 1925, *Zirconium oxide chloride (ZOC)*, Danske Videnska.

- Wang, L., Pan, Y., Ding, Y., Yang, W., Mao, W. L., Sinogeikin, S. V., Meng, Y., Shen, G., Mao, H. K., 2009, Transisi fase yang diinduksi tekanan tinggi dari Y_2HfAl_3 dan $Y_2HfAl_3:Eu^{3+}$, *Aplikasi Fisika. Lett.* 94; 061921.
- Wang, Z., Xu, Q., Xu, M., Wang, S., dan You, J., 2015, In Situ Spectroscopic Studies of Decomposition of $ZrSiO_4$ During Alkali Fusion Process Using Various Hydroxides, *RSC Adv*, vol. 5, hal. 11658-11666.
- Xi, X., Abe, H., Kuruma, K., Harada, R., Shui, A., dan Naito, M., 2013, Novel coprecipitation method the synthesis NiO-YSZ nanocomposite powder for solid oxide fuel cell, *J. elseiver, advanced power technology*, 25(2): 490-494.
- Yan, F., Liu, Z. T., and Liu, W. T., 2011, Sifat struktural dan optik dari film tipis yttrium trioksida yang dibuat dengan RF magnetron sputtering, *Vacuu Vol* (86); 72–77.
- Zhu, J., Zhu, Y., Shen, W., Wang, Y., Han, J., Tian, G., Lei, P., dan Dai, B., 2011, Pertumbuhan dan Karakterisasi Film Oksida Yttrium dengan Sputtering Magnetron Reaktif, *Film Padat Tipis*, 519, 4894.
- Zulfikar dan Herry R.E, 2008, Endapan Zirkon Di Daerah Pangkalan Batu, Kecamatan Kendawangan, Ketapang, Kalbar, Pusat Sumber Daya Geologi; Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1. UNDANG-UNDANG DAN PERATURAN LAINNYA

1. Undang-Undang No 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.

Lampiran 2. PERHITUNGAN

1. Stokiometri perbandingan pasir zirkon : NaOH

ZrSiO₄ Mr : 183,3 gr/mol

NaOH Mr : 40 gr/mol

$$mol : \frac{gr}{Mr} : Mr \times mol : gr$$

ZrSiO₄ gr : 183,3 × 1 : 183,3 g

NaOH gr : 40 × 4 : 160 g

2. Pembuatan larutan HCl 3,5M

$$M1 : \frac{\rho \times \% \times 1000ml}{Bm} :$$

$$\frac{11,25 \text{ g/ml} \times 0,25 \times 1000ml}{36,46 \text{ g/mol}} :$$

7,71 mol/ml/m

$$M1 \times v1 : m2 \times v2$$

$$V1 : \frac{100 \text{ ml} \times 3,5 \text{ m}}{7,71 \text{ m}} :$$

45,40 ml

3. Pembuatan NH₄OH 3M

$$M1 \times V1 : M2 \times V2$$

$$V1 : \frac{1000 \text{ ml} \times 3 \text{ M}}{13,35 \text{ M}}$$

224,72 ml

Lampiran 3. ANALISIS INSTRUMEN XRF

1. Zirkoan MERCK

4630 Zirkonia Pabrik					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	1.299	%	P ₂ O ₅	2.771	%
Ca	0.24	%	CaO	0.252	%
Co	0	Ppm	Co ₃ O ₄	0	Ppm
As	0	Ppm	As ₂ O ₃	0	Ppm
Se	16.3	Ppm	SeO ₂	17	Ppm
Zr	95.329	%	ZrO ₂	94.216	%
Ce	161.4	Ppm	CeO ₂	148.4	Ppm
Er	0	Ppm	Er ₂ O ₃	0	Ppm
Hf	3.083	%	HfO ₂	2.719	%
Pb	71.4	Ppm	PbO	56.1	Ppm
Bi	238.4	Ppm	Bi ₂ O ₃	196.9	Ppm
Normalisation factor					
0.971			0.960		

2. Zirkon Batan

4631 Zirkonia BATAN					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
P	0	Ppm	P ₂ O ₅	0	Ppm
Ca	0.262	%	CaO	0.28	%
Ti	104.7	Ppm	TiO ₂	133	Ppm
V	38.1	Ppm	V ₂ O ₅	51.8	Ppm
Fe	78.9	Ppm	Fe ₂ O ₃	85.8	Ppm
Co	0	Ppm	Co ₃ O ₄	0	Ppm
As	28.6	Ppm	As ₂ O ₃	26.9	Ppm
Se	25.2	Ppm	SeO ₂	26.8	Ppm
Y	9.006	%	Y ₂ O ₃	8.567	%
Zr	87.707	%	ZrO ₂	88.433	%

3. Zirkon sintesis waktu 2 jam suhu 600, 700, 800, 900 dan 1000°C

4540 Zirkonia 2 jam 600°C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,431	%	Al ₂ O ₃	0,759	%
Si	3,28	%	SiO ₂	6,448	%
P	1,125	%	P ₂ O ₅	2,388	%
Cl	2,279	%	Cl	1,654	%
K	0,133	%	K ₂ O	0,116	%
Ca	1,045	%	CaO	1,056	%
Ti	5,697	%	TiO ₂	6,847	%
V	222,2	ppm	V ₂ O ₅	279	ppm
Mn	376,5	ppm	MnO	349	ppm
Fe	0,892	%	Fe ₂ O ₃	0,915	%
Ni	78,7	ppm	NiO	72,6	ppm
Zn	263,7	ppm	ZnO	235,7	ppm
As	10,2	ppm	As ₂ O ₃	7,5	ppm
Se	14,1	ppm	SeO ₂	14	ppm
Y	0,583	%	Y ₂ O ₃	0,52	%
Zr	81,136	%	ZrO ₂	76,423	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,114	%	BaO	879,5	ppm
Nd	219,1	ppm	Nd ₂ O ₃	183,6	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu ₂ O ₃	0	ppm
Yb	774,7	ppm	Yb ₂ O ₃	633,9	ppm
Hf	2,798	%	HfO ₂	2,371	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	13,5	ppm	ReO ₂	11,3	ppm
Pb	113,2	ppm	PbO	86,7	ppm
Bi	208,3	ppm	Bi ₂ O ₃	164	ppm
Th	0,113	%	ThO ₂	903,6	ppm
U	0,145	%	U ₃ O ₈	0,121	%
Normalisation factor					
1,012			0,994		

4541 Zirkonia 2 jam 700°C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,438	%	Al ₂ O ₃	0,771	%
Si	3,27	%	SiO ₂	6,433	%
P	1,081	%	P ₂ O ₅	2,303	%
Cl	2,919	%	Cl	2,123	%
K	0,247	%	K ₂ O	0,216	%
Ca	1,036	%	CaO	1,05	%
Ti	5,649	%	TiO ₂	6,805	%
V	236,9	ppm	V ₂ O ₅	298,5	Ppm
Mn	363,7	ppm	MnO	337,7	Ppm
Fe	0,902	%	Fe ₂ O ₃	0,927	%
Ni	95,3	ppm	NiO	88	Ppm
Zn	242,2	ppm	ZnO	217	Ppm
As	11,6	ppm	As ₂ O ₃	8,9	Ppm
Se	13,9	ppm	SeO ₂	13,9	Ppm
Y	0,576	%	Y ₂ O ₃	0,515	%
Zr	80,443	%	ZrO ₂	75,941	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	Ppm
Sn	317,9	ppm	SnO ₂	280	Ppm
Ba	0,116	%	BaO	904,1	Ppm
Nd	212,8	ppm	Nd ₂ O ₃	178,6	Ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	Ppm
Eu	19,2	ppm	Eu ₂ O ₃	16,3	Ppm
Yb	769,9	ppm	Yb ₂ O ₃	631,3	Ppm
Hf	2,803	%	HfO ₂	2,38	%
W	0	ppm	WO ₃	0	Ppm
Re	24,3	ppm	ReO ₂	20,4	Ppm
Pb	88,9	ppm	PbO	68,3	Ppm
Bi	203,8	ppm	Bi ₂ O ₃	160,9	Ppm
Th	0,116	%	ThO ₂	929,6	Ppm
U	0,143	%	U ₃ O ₈	0,119	%
Normalisation factor					
1,009			0,992		

4542 Zirkonia 2 jam 800°C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,503	%	Al	0,503	%
Si	3,344	%	Si	3,344	%
P	1,284	%	P	1,284	%
Cl	0,713	%	Cl	0,713	%
K	312,4	ppm	K	312,4	Ppm
Ca	1,038	%	Ca	1,038	%
Ti	5,704	%	Ti	5,704	%
V	261,6	ppm	V	261,6	Ppm
Mn	369,4	ppm	Mn	369,4	Ppm
Fe	0,898	%	Fe	0,898	%
Ni	93,5	ppm	Ni	93,5	Ppm
Zn	148,5	ppm	Zn	148,5	Ppm
As	7,3	ppm	As	7,3	Ppm
Se	17	ppm	Se	17	Ppm
Y	0,589	%	Y	0,589	%
Zr	82,423	%	Zr	82,423	%
Nb	0	ppm	Nb	0	Ppm
Ba	0,116	%	Ba	0,116	%
Nd	226,1	ppm	Nd	226,1	ppm
Sm	0	ppm	Sm	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu	0	ppm
Yb	776,8	ppm	Yb	776,8	ppm
Hf	2,87	%	Hf	2,87	%
W	0	ppm	W	0	ppm
Re	25,3	ppm	Re	25,3	ppm
Pb	33,8	ppm	Pb	33,8	ppm
Bi	204,5	ppm	Bi	204,5	ppm
Th	0,121	%	Th	0,121	%
U	0,149	%	U	0,149	%
Normalisation factor					
1,012			0,994		

4543 Zirkonia 2 jam 900°C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	3,34	%	SiO2	6,554	%
P	1,23	%	P2O5	2,584	%
K	0,679	%	K2O	0,591	%
Ca	1,063	%	CaO	1,072	%

Ti	5,45	%	TiO2	6,535	%
V	251,4	ppm	V2O5	316	ppm
Mn	376,8	ppm	MnO	348,4	ppm
Fe	0,925	%	Fe2O3	0,946	%
Ni	98	ppm	NiO	90,1	ppm
Zn	167,8	ppm	ZnO	149,6	ppm
As	14,7	ppm	As2O3	11,6	ppm
Se	13,6	ppm	SeO2	13,4	ppm
Y	0,599	%	Y2O3	0,533	%
Zr	83,215	%	ZrO2	78,232	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Ba	0,118	%	BaO	910,8	ppm
Nd	204,3	ppm	Nd2O3	170,7	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu2O3	0	ppm
Yb	833,1	ppm	Yb2O3	680	ppm
Hf	2,896	%	HfO2	2,448	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	5	ppm	ReO2	4,2	ppm
Pb	19,4	ppm	PbO	14,7	ppm
Bi	203,5	ppm	Bi2O3	159,8	ppm
Th	0,118	%	ThO2	943,3	ppm
U	0,149	%	U3O8	0,123	%
Normalisation factor					
1,022			1,005		

4544_Zirkonia 2 jam 1000°C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,462	%	Al2O3	0,812	%
Si	3,025	%	SiO2	5,944	%
P	1,197	%	P2O5	2,516	%
Cl	0,643	%	Cl	0,466	%
Ca	0,951	%	CaO	0,96	%
Ti	5,256	%	TiO2	6,311	%
V	261,2	ppm	V2O5	329,3	ppm
Mn	353,8	ppm	MnO	327,6	ppm
Fe	0,887	%	Fe2O3	0,909	%
Ni	89,8	ppm	NiO	82,7	ppm
Zn	63,4	ppm	ZnO	56,6	ppm
As	24,4	ppm	As2O3	20,8	ppm
Se	17,5	ppm	SeO2	17,4	ppm

Y	0,605	%	Y2O3	0,539	%
Zr	83,501	%	ZrO2	78,609	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Ba	0,123	%	BaO	955,4	ppm
Nd	249,7	ppm	Nd2O3	209	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu2O3	0	ppm
Yb	825,4	ppm	Yb2O3	674,7	ppm
Hf	2,873	%	HfO2	2,432	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	31	ppm	ReO2	26	ppm
Pb	6,2	ppm	PbO	4,6	ppm
Bi	217,4	ppm	Bi2O3	171,1	ppm
Th	0,115	%	ThO2	921,8	ppm
U	0,147	%	U3O8	0,122	%
Normalisation factor					
1,027			1,010		

4. Zirkon Sintesis waktu 3 jam suhu 600, 700, 800, 900 dan 1000°C

4545 Zirkonia 3 jam 1000 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,446	%	Al2O3	0,783	%
Si	3,134	%	SiO2	6,151	%
P	1,253	%	P2O5	2,63	%
Cl	0,512	%	Cl	0,37	%
Ca	0,917	%	CaO	0,924	%
Ti	5,405	%	TiO2	6,477	%
V	257,3	ppm	V2O5	323,3	ppm
Mn	359,4	ppm	MnO	332,1	ppm
Fe	0,893	%	Fe2O3	0,913	%
Ni	70,3	ppm	NiO	64,8	ppm
Zn	74,2	ppm	ZnO	66,1	ppm
As	13,6	ppm	As2O3	10,5	ppm
Se	16,5	ppm	SeO2	16,4	ppm
Y	0,596	%	Y2O3	0,53	%
Zr	83,321	%	ZrO2	78,251	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Sn	332,4	ppm	SnO2	291,3	ppm
Te	133,8	ppm	TeO2	115,6	ppm
Ba	0,119	%	BaO	921,9	ppm
Nd	215,5	ppm	Nd2O3	180	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm

Eu	0	ppm	Eu ₂ O ₃	0	ppm
Yb	857	ppm	Yb ₂ O ₃	699,1	ppm
Hf	2,882	%	HfO ₂	2,434	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	16,4	ppm	ReO ₂	13,7	ppm
Pb	16,3	ppm	PbO	12,3	ppm
Bi	218,5	ppm	Bi ₂ O ₃	171,6	ppm
Th	0,119	%	ThO ₂	948,8	ppm
U	0,146	%	U ₃ O ₈	0,121	%
Normalisation factor					
1,031			1,013		

4546 Zirkonia 3 jam 900 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,482	%	Al ₂ O ₃	0,846	%
Si	3,393	%	SiO ₂	6,652	%
P	1,299	%	P ₂ O ₅	2,725	%
Cl	0,593	%	Cl	0,428	%
K	0,434	%	K ₂ O	0,376	%
Ca	0,997	%	CaO	1,001	%
Ti	5,64	%	TiO ₂	6,736	%
V	253,5	ppm	V ₂ O ₅	317,1	ppm
Mn	370,4	ppm	MnO	341,1	ppm
Fe	0,913	%	Fe ₂ O ₃	0,93	%
Ni	126,1	ppm	NiO	115,3	ppm
Zn	192,5	ppm	ZnO	171	ppm
As	12,9	ppm	As ₂ O ₃	9,8	ppm
Se	15,4	ppm	SeO ₂	15,3	ppm
Y	0,585	%	Y ₂ O ₃	0,518	%
Zr	82,163	%	ZrO ₂	76,845	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	292,9	ppm	SnO ₂	255,6	ppm
Ba	0,116	%	BaO	895,2	ppm
Nd	220,5	ppm	Nd ₂ O ₃	183,6	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu ₂ O ₃	0	ppm
Yb	749,6	ppm	Yb ₂ O ₃	609,4	ppm
Hf	2,869	%	HfO ₂	2,415	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	3,2	ppm	ReO ₂	2,7	ppm
Pb	40,4	ppm	PbO	30,6	ppm

Bi	208,6	ppm	Bi ₂ O ₃	163,1	ppm
Th	0,117	%	ThO ₂	932,4	ppm
U	0,151	%	U ₃ O ₈	0,124	%
Normalisation factor					
1,013			0,995		

4547 Zirkonia 3 jam 800 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,475	%	Al ₂ O ₃	0,834	%
Si	3,48	%	SiO ₂	6,821	%
P	1,193	%	P ₂ O ₅	2,517	%
Cl	0,559	%	Cl	0,402	%
K	248,9	ppm	K ₂ O	215,8	ppm
Ca	0,989	%	CaO	0,993	%
Ti	5,768	%	TiO ₂	6,886	%
V	241,9	ppm	V ₂ O ₅	301,8	ppm
Mn	372	ppm	MnO	342,4	ppm
Fe	0,896	%	Fe ₂ O ₃	0,913	%
Zn	142,3	ppm	ZnO	126,2	ppm
As	6,1	ppm	As ₂ O ₃	3,4	ppm
Se	8,9	ppm	SeO ₂	8,8	ppm
Y	0,586	%	Y ₂ O ₃	0,519	%
Zr	82,56	%	ZrO ₂	77,181	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Te	107,1	ppm	TeO ₂	92,1	ppm
Ba	0,108	%	BaO	828	ppm
Nd	217,5	ppm	Nd ₂ O ₃	181	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	0	ppm	Eu ₂ O ₃	0	ppm
Yb	906,2	ppm	Yb ₂ O ₃	736,9	ppm
Hf	2,874	%	HfO ₂	2,419	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	0	ppm	ReO ₂	0	ppm
Pb	32,5	ppm	PbO	24,6	ppm
Bi	200,6	ppm	Bi ₂ O ₃	156,8	ppm
Th	0,118	%	ThO ₂	936,3	ppm
U	0,147	%	U ₃ O ₈	0,121	%
Normalisation factor					
1,010			0,992		

4548 Zirkonia 3 jam 700 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,506	%	Al ₂ O ₃	0,89	%
Si	3,428	%	SiO ₂	6,728	%
P	1,193	%	P ₂ O ₅	2,521	%
Cl	1,78	%	Cl	1,287	%
K	0,328	%	K ₂ O	0,285	%
Ca	0,987	%	CaO	0,994	%
Ti	5,758	%	TiO ₂	6,896	%
V	241,1	ppm	V ₂ O ₅	301,7	Ppm
Mn	376,4	ppm	MnO	347,5	ppm
Fe	0,92	%	Fe ₂ O ₃	0,939	%
Ni	87,7	ppm	NiO	80,6	ppm
Zn	233,5	ppm	ZnO	207,9	ppm
As	10,7	ppm	As ₂ O ₃	7,9	ppm
Se	13,5	ppm	SeO ₂	13,3	ppm
Y	0,576	%	Y ₂ O ₃	0,511	%
Zr	81,071	%	ZrO ₂	76,036	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	315,4	ppm	SnO ₂	276	ppm
Ba	0,112	%	BaO	860,3	ppm
Nd	229,5	ppm	Nd ₂ O ₃	191,5	ppm
Eu	8,9	ppm	Eu ₂ O ₃	7,7	ppm
Yb	783,3	ppm	Yb ₂ O ₃	638,6	ppm
Hf	2,82	%	HfO ₂	2,38	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	0	ppm	ReO ₂	0	ppm
Pb	96,5	ppm	PbO	73,7	ppm
Bi	189,4	ppm	Bi ₂ O ₃	148,4	ppm
Th	0,118	%	ThO ₂	946,7	ppm
U	0,145	%	U ₃ O ₈	0,12	%
Normalisation factor					
1,013			0,995		

4549 Zirkonia 3 jam 600 C					
10 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,491	%	Al ₂ O ₃	0,864	%
Si	3,324	%	SiO ₂	6,526	%
P	1,166	%	P ₂ O ₅	2,466	%
Cl	1,517	%	Cl	1,098	%

K	0,133	%	K ₂ O	0,116	%
Ca	1,004	%	CaO	1,012	%
Ti	5,784	%	TiO ₂	6,931	%
V	238,2	ppm	V ₂ O ₅	298,3	ppm
Mn	372,8	ppm	MnO	344,3	ppm
Fe	0,902	%	Fe ₂ O ₃	0,922	%
Ni	90,6	ppm	NiO	83,2	ppm
Zn	244,6	ppm	ZnO	218	ppm
As	8,9	ppm	As ₂ O ₃	6,2	ppm
Se	10,1	ppm	SeO ₂	10	ppm
Y	0,58	%	Y ₂ O ₃	0,515	%
Zr	81,617	%	ZrO ₂	76,616	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	301,5	ppm	SnO ₂	264,1	ppm
Ba	0,112	%	BaO	865,9	ppm
Nd	224,4	ppm	Nd ₂ O ₃	187,4	ppm
Eu	2,9	ppm	Eu ₂ O ₃	2,6	ppm
Yb	749,7	ppm	Yb ₂ O ₃	611,5	ppm
Hf	2,846	%	HfO ₂	2,403	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	16,4	ppm	ReO ₂	13,8	ppm
Pb	109,6	ppm	PbO	83,7	ppm
Bi	192	ppm	Bi ₂ O ₃	150,6	ppm
Th	0,12	%	ThO ₂	959,6	ppm
U	0,146	%	U ₃ O ₈	0,121	%
Normalisation factor					
1,010			0,992		

4550 Zirkonia 4 jam 600 C					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,426	%	Al ₂ O ₃	0,747	%
Si	4,116	%	SiO ₂	8,05	%
P	1,211	%	P ₂ O ₅	2,546	%
Cl	1,16	%	Cl	0,833	%
K	0,196	%	K ₂ O	0,169	%
Ca	0,964	%	CaO	0,964	%
Ti	5,715	%	TiO ₂	6,796	%
V	232,4	ppm	V ₂ O ₅	288,5	ppm
Mn	330	ppm	MnO	302,3	ppm
Fe	0,949	%	Fe ₂ O ₃	0,962	%
Ni	76,1	ppm	NiO	69,3	ppm
Zn	244,3	ppm	ZnO	216	ppm
As	10,4	ppm	As ₂ O ₃	7,5	ppm
Se	10,1	ppm	SeO ₂	9,9	ppm
Y	0,637	%	Y ₂ O ₃	0,561	%
Zr	81,155	%	ZrO ₂	75,471	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,106	%	BaO	808,5	ppm
Nd	186,8	ppm	Nd ₂ O ₃	154,6	ppm
Eu	120,6	ppm	Eu ₂ O ₃	99,9	ppm
Yb	782,3	ppm	Yb ₂ O ₃	633,1	ppm
Hf	2,843	%	HfO ₂	2,382	%
W	0	ppm	WO ₃	0	Ppm
Re	11,3	ppm	ReO ₂	9,4	Ppm
Pb	107,5	ppm	PbO	81,4	Ppm
Bi	210,9	ppm	Bi ₂ O ₃	164,2	Ppm
Th	0,152	%	ThO ₂	0,12	%
U	0,137	%	U ₃ O ₈	0,113	%
Normalisation factor					
1,080			1,061		

4551_Zirkonia 4 jam 700 C					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,423	%	Al ₂ O ₃	0,744	%
Si	4,191	%	SiO ₂	8,186	%
P	1,884	%	P ₂ O ₅	3,666	%
Cl	1,501	%	Cl	1,073	%
K	0,25	%	K ₂ O	0,215	%
Ca	0,922	%	CaO	0,918	%
Ti	5,64	%	TiO ₂	6,677	%
V	245,6	ppm	V ₂ O ₅	304,1	ppm
Mn	320,1	ppm	MnO	291,8	ppm
Fe	0,91	%	Fe ₂ O ₃	0,918	%
Ni	106,6	ppm	NiO	96,4	ppm
Zn	190,4	ppm	ZnO	167,6	ppm
As	5,3	ppm	As ₂ O ₃	2,7	ppm
Se	2,9	ppm	SeO ₂	2,8	ppm
Y	0,572	%	Y ₂ O ₃	0,502	%
Zr	80,261	%	ZrO ₂	74,234	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	402	ppm	SnO ₂	346,7	ppm
Ba	0,114	%	BaO	863,6	ppm
Nd	193,9	ppm	Nd ₂ O ₃	159,9	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	110,8	ppm	Eu ₂ O ₃	91,5	ppm
Yb	705,6	ppm	Yb ₂ O ₃	568,6	ppm
Hf	2,786	%	HfO ₂	2,324	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	11,6	ppm	ReO ₂	9,6	ppm
Pb	94,3	ppm	PbO	71,1	ppm
Bi	205	ppm	Bi ₂ O ₃	158,8	ppm
Th	0,153	%	ThO ₂	0,12	%
U	0,135	%	U ₃ O ₈	0,11	%
Normalisation factor					
1,013			0,994		

4552 Zirkonia 4 jam 800 C					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,381	%	Al ₂ O ₃	0,67	%
Si	4,15	%	SiO ₂	8,094	%
P	2,067	%	P ₂ O ₅	4,013	%
Cl	0,363	%	Cl	0,258	%
K	0,365	%	K ₂ O	0,313	%
Ca	0,946	%	CaO	0,939	%
Ti	5,575	%	TiO ₂	6,578	%
V	261,1	ppm	V ₂ O ₅	322,8	ppm
Mn	318,6	ppm	MnO	289,4	ppm
Fe	0,913	%	Fe ₂ O ₃	0,918	%
Ni	80,4	ppm	NiO	72,5	ppm
Zn	143,8	ppm	ZnO	126,2	ppm
As	0	ppm	As ₂ O ₃	0	ppm
Se	12,6	ppm	SeO ₂	12,4	ppm
Y	0,631	%	Y ₂ O ₃	0,551	%
Zr	81,137	%	ZrO ₂	74,786	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	323,3	ppm	SnO ₂	277,9	ppm
Ba	0,11	%	BaO	831,6	ppm
Nd	180,9	ppm	Nd ₂ O ₃	148,6	ppm
Eu	118,3	ppm	Eu ₂ O ₃	97,2	ppm
Yb	776,9	ppm	Yb ₂ O ₃	624,1	ppm
Hf	2,823	%	HfO ₂	2,347	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	3	ppm	ReO ₂	2,2	ppm
Pb	41,4	ppm	PbO	29,7	ppm
Bi	200	ppm	Bi ₂ O ₃	154,3	ppm
Th	0,155	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,138	%	U ₃ O ₈	0,112	%
Normalisation factor					
1,018			0,999		

4553 Zirkonia 4 jam 900 C					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	4,113	%	SiO2	8,052	%
P	1,158	%	P2O5	2,44	%
Cl	0,335	%	Cl	0,241	%
K	0,552	%	K2O	0,478	%
Ca	0,968	%	CaO	0,972	%
Ti	4,996	%	TiO2	5,965	%
V	236,7	ppm	V2O5	296	ppm
Mn	356,3	ppm	MnO	327,9	ppm
Fe	0,954	%	Fe2O3	0,972	%
Zn	178,4	ppm	ZnO	158,3	ppm
As	9,2	ppm	As2O3	6,3	ppm
Se	13	ppm	SeO2	12,9	ppm
Y	0,66	%	Y2O3	0,584	%
Zr	82,751	%	ZrO2	77,349	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Sn	282,7	ppm	SnO2	246,5	ppm
Ba	0,12	%	BaO	924,3	ppm
Nd	220,9	ppm	Nd2O3	183,7	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	42	ppm	Eu2O3	35	ppm
Yb	889,6	ppm	Yb2O3	723,4	ppm
Hf	2,845	%	HfO2	2,394	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	0	ppm	ReO2	0	ppm
Pb	26,2	ppm	PbO	19,8	ppm
Bi	189,3	ppm	Bi2O3	147,9	ppm
Th	0,157	%	ThO2	0,125	%
U	0,146	%	U3O8	0,121	%
Normalisation factor					
1,017			1,000		

4554 Zirkonia 4 jam 1000 C					
11 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	3,688	%	SiO2	7,223	%
P	1,685	%	P2O5	3,293	%
Cl	0,752	%	Cl	0,542	%
K	0,265	%	K2O	0,229	%
Ca	0,876	%	CaO	0,88	%
Ti	5,142	%	TiO2	6,144	%
V	250,5	ppm	V2O5	314,2	ppm
Mn	311,2	ppm	MnO	286,4	ppm
Fe	0,891	%	Fe2O3	0,908	%
Ni	78,8	ppm	NiO	72	ppm
Zn	99,3	ppm	ZnO	88,2	ppm
As	10,9	ppm	As2O3	8	ppm
Se	12,6	ppm	SeO2	12,4	ppm
Y	0,643	%	Y2O3	0,57	%
Zr	82,574	%	ZrO2	77,283	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Sn	336,3	ppm	SnO2	293,7	ppm
Ba	0,121	%	BaO	930,9	ppm
Nd	159	ppm	Nd2O3	132,3	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	104,1	ppm	Eu2O3	86,7	ppm
Yb	823,4	ppm	Yb2O3	669,8	ppm
Hf	2,823	%	HfO2	2,377	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	9,5	ppm	ReO2	8	ppm
Pb	17,6	ppm	PbO	13,3	ppm
Bi	208,1	ppm	Bi2O3	163	ppm
Th	0,157	%	ThO2	0,125	%
U	0,142	%	U3O8	0,117	%
Normalisation factor					
1,024			1,006		

4555_Zirkonia 5 Jam 600 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,458	%	Al ₂ O ₃	0,806	%
Si	4,131	%	SiO ₂	8,075	%
P	1,146	%	P ₂ O ₅	2,214	%
Cl	1,366	%	Cl	0,984	%
K	0,109	%	K ₂ O	946,5	Ppm
Ca	0,926	%	CaO	0,928	%
Ti	5,628	%	TiO ₂	6,711	%
V	147,9	ppm	V ₂ O ₅	182,2	Ppm
Mn	356,8	ppm	MnO	327,9	Ppm
Fe	0,917	%	Fe ₂ O ₃	0,933	%
Ni	124,7	ppm	NiO	113,5	Ppm
Zn	222,7	ppm	ZnO	197,5	Ppm
As	0	ppm	As ₂ O ₃	0	Ppm
Se	14,2	ppm	SeO ₂	14,1	Ppm
Y	0,577	%	Y ₂ O ₃	0,51	%
Zr	81,085	%	ZrO ₂	75,683	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	Ppm
Te	117,8	ppm	TeO ₂	101,1	Ppm
Ba	0,117	%	BaO	896,2	Ppm
La	204,1	ppm	La ₂ O ₃	171,9	Ppm
Ce	0,105	%	CeO ₂	917,9	Ppm
Pr	0	ppm	Pr ₂ O ₃	0	Ppm
Nd	0	ppm	Nd ₂ O ₃	0	Ppm
Pm	0	ppm	Pm ₂ O ₃	0	Ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	Ppm
Eu	53,8	ppm	Eu ₂ O ₃	44,5	Ppm
Gd	0	ppm	Gd ₂ O ₃	0	Ppm
Tb	0	ppm	Tb ₄ O ₇	0	Ppm
Dy	90,3	ppm	Dy ₂ O ₃	74,1	Ppm
Ho	47	ppm	Ho ₂ O ₃	38,5	Ppm
Er	989,5	ppm	Er ₂ O ₃	805,8	Ppm
Tm	101,1	ppm	Tm ₂ O ₃	81,2	Ppm
Yb	583	ppm	Yb ₂ O ₃	473,1	Ppm
Lu	0	ppm	Lu ₂ O ₃	0	Ppm
Hf	2,806	%	HfO ₂	2,357	%
W	0	ppm	WO ₃	0	Ppm
Re	11,7	ppm	ReO ₂	9,5	Ppm
Pb	112,8	ppm	PbO	84,5	Ppm
Bi	190,4	ppm	Bi ₂ O ₃	148,8	ppm

Th	0,155	%	ThO2	0,123	%
U	0,137	%	U3O8	0,113	%
Normalisation factor					
1,018			0,999		

4556 Zirkonia 5 Jan 700 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,379	%	Al2O3	0,666	%
Si	4,17	%	SiO2	8,143	%
P	1,931	%	P2O5	3,759	%
Cl	1,131	%	Cl	0,808	%
K	0,242	%	K2O	0,207	%
Ca	0,939	%	CaO	0,934	%
Ti	5,543	%	TiO2	6,558	%
V	234,2	ppm	V2O5	289,7	ppm
Mn	328,1	ppm	MnO	298,9	ppm
Fe	0,931	%	Fe2O3	0,94	%
Ni	90,2	ppm	NiO	81,6	ppm
Zn	229,5	ppm	ZnO	201,9	ppm
As	6,1	ppm	As2O3	3,5	ppm
Se	9,5	ppm	SeO2	9,3	ppm
Y	0,625	%	Y2O3	0,547	%
Zr	80,646	%	ZrO2	74,556	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Sn	344,6	ppm	SnO2	297	ppm
Te	133,1	ppm	TeO2	113,1	ppm
Ba	0,113	%	BaO	856,2	ppm
Nd	205,3	ppm	Nd2O3	169,1	ppm
Eu	108,6	ppm	Eu2O3	89,6	ppm
Yb	722,8	ppm	Yb2O3	582,2	ppm
Hf	2,792	%	HfO2	2,328	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	13,8	ppm	ReO2	11,4	ppm
Pb	101,9	ppm	PbO	76,8	ppm
Bi	204,6	ppm	Bi2O3	158,4	ppm
Th	0,151	%	ThO2	0,119	%
U	0,136	%	U3O8	0,111	%
Normalisation factor					
1,012			0,992		

4557 Zirkonia 5 Jam 800 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,488	%	Al ₂ O ₃	0,858	%
Si	4,266	%	SiO ₂	8,314	%
P	2,143	%	P ₂ O ₅	4,157	%
Cl	0,446	%	Cl	0,317	%
K	0,228	%	K ₂ O	0,195	%
Ca	0,918	%	CaO	0,909	%
Ti	5,575	%	TiO ₂	6,561	%
V	237,3	ppm	V ₂ O ₅	291,9	ppm
Mn	347,9	ppm	MnO	315,5	ppm
Fe	0,92	%	Fe ₂ O ₃	0,923	%
Ni	94,3	ppm	NiO	85,1	ppm
Zn	134	ppm	ZnO	117,2	ppm
As	5,9	ppm	As ₂ O ₃	3,1	ppm
Se	15,8	ppm	SeO ₂	15,4	ppm
Y	0,575	%	Y ₂ O ₃	0,501	%
Zr	80,962	%	ZrO ₂	74,388	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	381	ppm	SnO ₂	326,4	ppm
Te	106,5	ppm	TeO ₂	89,9	ppm
Ba	0,114	%	BaO	862,9	ppm
Nd	208,5	ppm	Nd ₂ O ₃	171	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	28,8	ppm	Eu ₂ O ₃	23,8	ppm
Yb	751,7	ppm	Yb ₂ O ₃	602,2	ppm
Hf	2,817	%	HfO ₂	2,336	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	28,7	ppm	ReO ₂	23,6	ppm
Pb	37,9	ppm	PbO	28,3	ppm
Bi	201,8	ppm	Bi ₂ O ₃	155,4	ppm
Th	0,151	%	ThO ₂	0,118	%
U	0,14	%	U ₃ O ₈	0,113	%
Normalisation factor					
1,005			0,985		

4558_Zirkonia 5 Jam 900 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	4,037	%	SiO2	7,885	%
P	1,985	%	P2O5	3,863	%
Cl	0,365	%	Cl	0,261	%
K	0,499	%	K2O	0,429	%
Ca	0,918	%	CaO	0,915	%
Ti	5,5	%	TiO2	6,522	%
V	242,6	ppm	V2O5	301,2	ppm
Mn	325,1	ppm	MnO	296,9	ppm
Fe	0,889	%	Fe2O3	0,899	%
Ni	63,8	ppm	NiO	57,9	ppm
Zn	148	ppm	ZnO	130,5	ppm
As	3,7	ppm	As2O3	1,2	ppm
Se	16,7	ppm	SeO2	16,4	ppm
Y	0,579	%	Y2O3	0,509	%
Zr	81,737	%	ZrO2	75,805	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Sn	300,8	ppm	SnO2	260,2	ppm
Te	133,1	ppm	TeO2	113,5	ppm
Ba	0,117	%	BaO	888,7	ppm
Nd	164,5	ppm	Nd2O3	135,8	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	108	ppm	Eu2O3	89,3	ppm
Yb	783,8	ppm	Yb2O3	632,8	ppm
Hf	2,828	%	HfO2	2,364	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	10,3	ppm	ReO2	8,5	ppm
Pb	64,4	ppm	PbO	48,6	ppm
Bi	205,4	ppm	Bi2O3	159,5	ppm
Th	0,152	%	ThO2	0,12	%
U	0,138	%	U3O8	0,113	%
Normalisation factor					
1,011			0,992		

4559 Zirkonia 5 Jam 1000 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,467	%	Al ₂ O ₃	0,821	%
Si	3,857	%	SiO ₂	7,554	%
P	1,125	%	P ₂ O ₅	2,364	%
Cl	0,578	%	Cl	0,416	%
K	0,455	%	K ₂ O	0,394	%
Ca	0,845	%	CaO	0,848	%
Ti	5,12	%	TiO ₂	6,11	%
V	261,6	ppm	V ₂ O ₅	327,6	ppm
Mn	301	ppm	MnO	276,6	ppm
Fe	0,897	%	Fe ₂ O ₃	0,913	%
Zn	80,6	ppm	ZnO	71,4	ppm
As	16,4	ppm	As ₂ O ₃	13,1	ppm
Se	17	ppm	SeO ₂	16,8	ppm
Y	0,588	%	Y ₂ O ₃	0,52	%
Zr	82,638	%	ZrO ₂	77,185	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,123	%	BaO	941,4	ppm
Nd	124,7	ppm	Nd ₂ O ₃	103,5	ppm
Eu	138,8	ppm	Eu ₂ O ₃	115,4	ppm
Yb	822	ppm	Yb ₂ O ₃	667,8	ppm
Hf	2,815	%	HfO ₂	2,367	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	3,1	ppm	ReO ₂	2,6	ppm
Pb	18,3	ppm	PbO	13,8	ppm
Bi	206,6	ppm	Bi ₂ O ₃	161,4	ppm
Th	0,153	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,14	%	U ₃ O ₈	0,116	%
Normalisation factor					
1,023			1,005		

4560_Zirkonia 6 Jan 600 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,44	%	Al ₂ O ₃	0,775	%
Si	4,093	%	SiO ₂	7,995	%
P	1,838	%	P ₂ O ₅	3,577	%
Cl	1,285	%	Cl	0,919	%
K	756,9	ppm	K ₂ O	650,7	ppm
Ca	0,875	%	CaO	0,872	%
Ti	5,555	%	TiO ₂	6,581	%
V	241,3	ppm	V ₂ O ₅	299,1	ppm
Mn	313	ppm	MnO	285,6	ppm
Fe	0,925	%	Fe ₂ O ₃	0,935	%
Ni	84,7	ppm	NiO	76,7	ppm
Zn	222,2	ppm	ZnO	195,8	ppm
As	8,4	ppm	As ₂ O ₃	5,6	ppm
Se	14	ppm	SeO ₂	13,7	ppm
Y	0,577	%	Y ₂ O ₃	0,506	%
Zr	80,884	%	ZrO ₂	74,9	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	313,3	ppm	SnO ₂	270,6	ppm
Ba	0,113	%	BaO	862,6	ppm
Nd	197	ppm	Nd ₂ O ₃	162,6	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	132,5	ppm	Eu ₂ O ₃	109,3	ppm
Yb	723,2	ppm	Yb ₂ O ₃	583,3	ppm
Hf	2,784	%	HfO ₂	2,325	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	21,6	ppm	ReO ₂	17,9	ppm
Pb	113	ppm	PbO	85,3	ppm
Bi	200,3	ppm	Bi ₂ O ₃	155,3	ppm
Th	0,155	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,141	%	U ₃ O ₈	0,115	%
Normalisation factor					
1,013			0,994		

4561 Zirkonia 6 Jam 700 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,416	%	Al ₂ O ₃	0,73	%
Si	3,9	%	SiO ₂	7,639	%
P	1,057	%	P ₂ O ₅	2,235	%
Cl	1,289	%	Cl	0,929	%
K	0,267	%	K ₂ O	0,231	%
Ca	0,87	%	CaO	0,874	%
Ti	5,494	%	TiO ₂	6,563	%
V	245,1	ppm	V ₂ O ₅	306,4	ppm
Mn	317,6	ppm	MnO	292,2	ppm
Fe	0,928	%	Fe ₂ O ₃	0,945	%
Zn	195,1	ppm	ZnO	173,5	ppm
As	0	ppm	As ₂ O ₃	0	ppm
Se	8,8	ppm	SeO ₂	8,8	ppm
Y	0,586	%	Y ₂ O ₃	0,519	%
Zr	81,72	%	ZrO ₂	76,417	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	344,5	ppm	SnO ₂	300,5	ppm
Te	127,1	ppm	TeO ₂	109,3	ppm
Ba	0,117	%	BaO	900,1	ppm
Nd	181,6	ppm	Nd ₂ O ₃	151	ppm
Eu	119,5	ppm	Eu ₂ O ₃	99,6	ppm
Yb	828,7	ppm	Yb ₂ O ₃	674,1	ppm
Hf	2,797	%	HfO ₂	2,355	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	16,3	ppm	ReO ₂	13,3	ppm
Pb	123,1	ppm	PbO	92,4	ppm
Bi	192,3	ppm	Bi ₂ O ₃	150,4	ppm
Th	0,153	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,137	%	U ₃ O ₈	0,113	%
Normalisation factor					
1,019			1,001		

4562 Zirkonia 6 Jam 800 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,495	%	Al ₂ O ₃	0,867	%
Si	4,216	%	SiO ₂	8,235	%
P	1,333	%	P ₂ O ₅	2,778	%
Cl	0,473	%	Cl	0,338	%
K	0,307	%	K ₂ O	0,263	%
Ca	0,875	%	CaO	0,872	%
Ti	5,582	%	TiO ₂	6,614	%
V	232,3	ppm	V ₂ O ₅	287,3	ppm
Mn	315,7	ppm	MnO	288	ppm
Fe	0,934	%	Fe ₂ O ₃	0,943	%
Zn	147,7	ppm	ZnO	130,1	ppm
As	12,6	ppm	As ₂ O ₃	9,4	ppm
Se	10,4	ppm	SeO ₂	10,2	ppm
Y	0,576	%	Y ₂ O ₃	0,505	%
Zr	81,706	%	ZrO ₂	75,667	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	343,6	ppm	SnO ₂	296,7	ppm
Te	112	ppm	TeO ₂	95,3	ppm
Ba	0,114	%	BaO	864,8	ppm
Nd	180,9	ppm	Nd ₂ O ₃	149,2	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	136,8	ppm	Eu ₂ O ₃	113	ppm
Yb	893,8	ppm	Yb ₂ O ₃	721,1	ppm
Hf	2,831	%	HfO ₂	2,364	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	33,6	ppm	ReO ₂	27,7	ppm
Pb	43,1	ppm	PbO	32,5	ppm
Bi	193,3	ppm	Bi ₂ O ₃	149,7	ppm
Th	0,154	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,139	%	U ₃ O ₈	0,113	%
Normalisation factor					
1,010			0,991		

4563 Zirkonia 6 Jam 900 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Si	4,123	%	SiO2	8,066	%
P	1,144	%	P2O5	2,405	%
K	0,662	%	K2O	0,572	%
Ca	0,879	%	CaO	0,881	%
Ti	5,481	%	TiO2	6,532	%
V	249,9	ppm	V2O5	311,9	ppm
Mn	331,8	ppm	MnO	304,6	ppm
Fe	0,902	%	Fe2O3	0,917	%
Ni	85,7	ppm	NiO	78,1	ppm
Zn	145,2	ppm	ZnO	128,6	ppm
As	16,4	ppm	As2O3	13	ppm
Se	11,6	ppm	SeO2	11,4	ppm
Y	0,586	%	Y2O3	0,518	%
Zr	82,757	%	ZrO2	77,205	%
Nb	0	ppm	Nb2O5	0	ppm
Ba	0,115	%	BaO	881,3	ppm
Nd	171,3	ppm	Nd2O3	142,1	ppm
Sm	0	ppm	Sm2O3	0	ppm
Eu	102,5	ppm	Eu2O3	85,2	ppm
Yb	768,7	ppm	Yb2O3	623,6	ppm
Hf	2,846	%	HfO2	2,39	%
W	0	ppm	WO3	0	ppm
Re	1,4	ppm	ReO2	1,1	ppm
Pb	29,7	ppm	PbO	22,5	ppm
Bi	199,3	ppm	Bi2O3	155,5	ppm
Th	0,151	%	ThO2	0,12	%
U	0,143	%	U3O8	0,117	%
Normalisation factor					
1,016			0,998		

4564_Zirkonia 6 Jam 1000 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,401	%	Al ₂ O ₃	0,706	%
Si	3,711	%	SiO ₂	7,263	%
P	1,766	%	P ₂ O ₅	3,45	%
Cl	0,723	%	Cl	0,519	%
K	0,341	%	K ₂ O	0,295	%
Ca	0,808	%	CaO	0,809	%
Ti	5,091	%	TiO ₂	6,059	%
V	229,9	ppm	V ₂ O ₅	286,8	ppm
Mn	318,3	ppm	MnO	291,8	ppm
Fe	0,899	%	Fe ₂ O ₃	0,913	%
Ni	82,9	ppm	NiO	75,5	ppm
Zn	99,6	ppm	ZnO	88,1	ppm
As	6,8	ppm	As ₂ O ₃	4,1	ppm
Se	12	ppm	SeO ₂	11,8	ppm
Y	0,586	%	Y ₂ O ₃	0,517	%
Zr	82,248	%	ZrO ₂	76,605	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,116	%	BaO	889,8	ppm
Nd	190,1	ppm	Nd ₂ O ₃	157,6	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	96,4	ppm	Eu ₂ O ₃	80,1	ppm
Yb	753,6	ppm	Yb ₂ O ₃	610,6	ppm
Hf	2,812	%	HfO ₂	2,358	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	11,1	ppm	ReO ₂	9,3	ppm
Pb	18,7	ppm	PbO	14	ppm
Bi	205,7	ppm	Bi ₂ O ₃	160,4	ppm
Th	0,156	%	ThO ₂	0,123	%
U	0,14	%	U ₃ O ₈	0,115	%
Normalisation factor					
1,022			1,003		

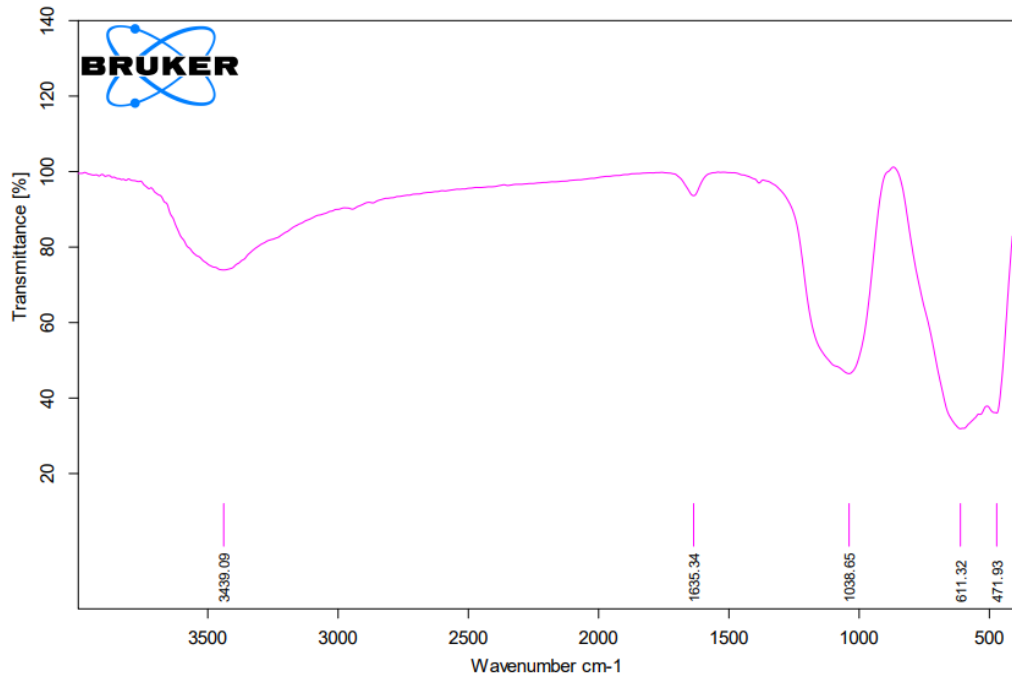
4564_Zirkonia 6 Jam 1000 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,401	%	Al ₂ O ₃	0,706	%
Si	3,711	%	SiO ₂	7,263	%
P	1,766	%	P ₂ O ₅	3,45	%
Cl	0,723	%	Cl	0,519	%
K	0,341	%	K ₂ O	0,295	%
Ca	0,808	%	CaO	0,809	%
Ti	5,091	%	TiO ₂	6,059	%
V	229,9	ppm	V ₂ O ₅	286,8	ppm
Mn	318,3	ppm	MnO	291,8	ppm
Fe	0,899	%	Fe ₂ O ₃	0,913	%
Ni	82,9	ppm	NiO	75,5	ppm
Zn	99,6	ppm	ZnO	88,1	ppm
As	6,8	ppm	As ₂ O ₃	4,1	ppm
Se	12	ppm	SeO ₂	11,8	ppm
Y	0,586	%	Y ₂ O ₃	0,517	%
Zr	82,248	%	ZrO ₂	76,605	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Ba	0,116	%	BaO	889,8	ppm
Nd	190,1	ppm	Nd ₂ O ₃	157,6	ppm
Sm	0	ppm	Sm ₂ O ₃	0	ppm
Eu	96,4	ppm	Eu ₂ O ₃	80,1	ppm
Yb	753,6	ppm	Yb ₂ O ₃	610,6	ppm
Hf	2,812	%	HfO ₂	2,358	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	11,1	ppm	ReO ₂	9,3	ppm
Pb	18,7	ppm	PbO	14	ppm
Bi	205,7	ppm	Bi ₂ O ₃	160,4	ppm
Th	0,156	%	ThO ₂	0,123	%
U	0,14	%	U ₃ O ₈	0,115	%
Normalisation factor					
1,022			1,003		

4561_Zirkonia 6 Jam 700 C					
17 Desember 2020					
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Al	0,416	%	Al ₂ O ₃	0,73	%
Si	3,9	%	SiO ₂	7,639	%
P	1,057	%	P ₂ O ₅	2,235	%
Cl	1,289	%	Cl	0,929	%
K	0,267	%	K ₂ O	0,231	%
Ca	0,87	%	CaO	0,874	%
Ti	5,494	%	TiO ₂	6,563	%
V	245,1	ppm	V ₂ O ₅	306,4	ppm
Mn	317,6	ppm	MnO	292,2	ppm
Fe	0,928	%	Fe ₂ O ₃	0,945	%
Zn	195,1	ppm	ZnO	173,5	ppm
As	0	ppm	As ₂ O ₃	0	ppm
Se	8,8	ppm	SeO ₂	8,8	ppm
Y	0,586	%	Y ₂ O ₃	0,519	%
Zr	81,72	%	ZrO ₂	76,417	%
Nb	0	ppm	Nb ₂ O ₅	0	ppm
Sn	344,5	ppm	SnO ₂	300,5	ppm
Te	127,1	ppm	TeO ₂	109,3	ppm
Ba	0,117	%	BaO	900,1	ppm
Nd	181,6	ppm	Nd ₂ O ₃	151	ppm
Eu	119,5	ppm	Eu ₂ O ₃	99,6	ppm
Yb	828,7	ppm	Yb ₂ O ₃	674,1	ppm
Hf	2,797	%	HfO ₂	2,355	%
W	0	ppm	WO ₃	0	ppm
Re	16,3	ppm	ReO ₂	13,3	ppm
Pb	123,1	ppm	PbO	92,4	ppm
Bi	192,3	ppm	Bi ₂ O ₃	150,4	ppm
Th	0,153	%	ThO ₂	0,122	%
U	0,137	%	U ₃ O ₈	0,113	%
Normalisation factor					
1,019			1,001		

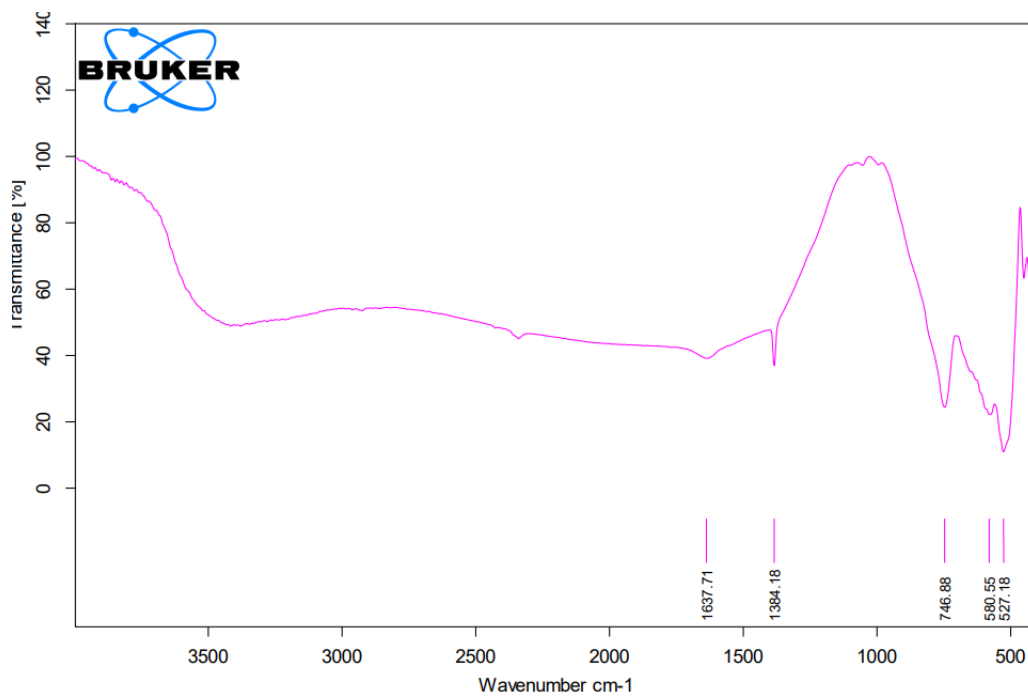
Activate Windows

Lampiran 4. ANALISIS INSTRUMEN FTIR

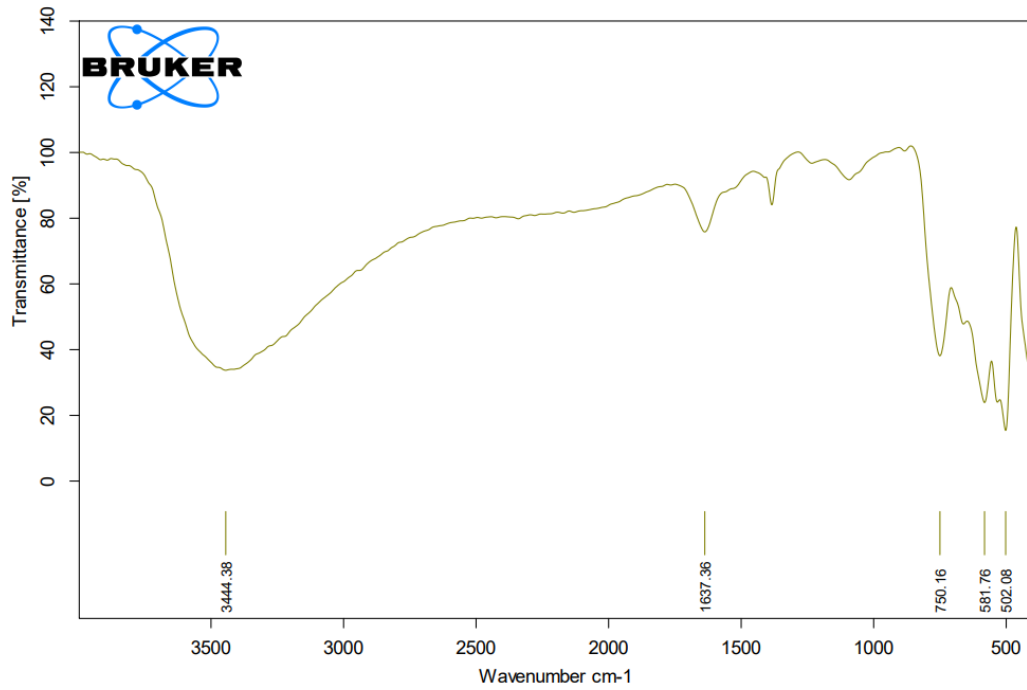
Zirkonium sintetis



Zirkonium MERCK



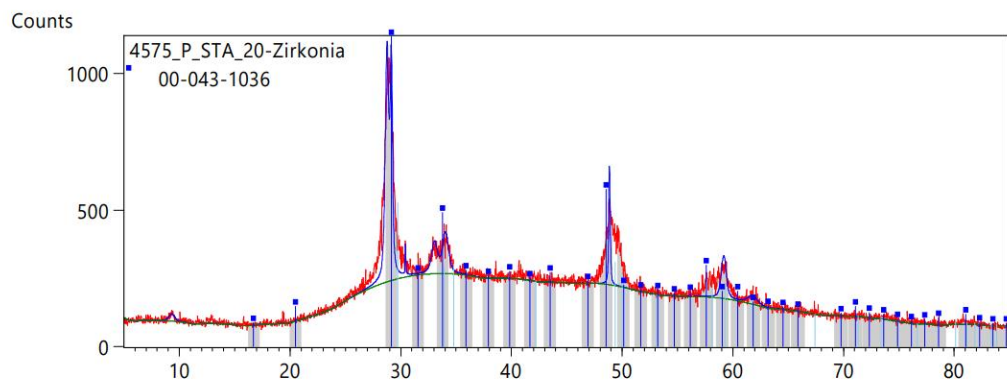
Zirkonium Batan



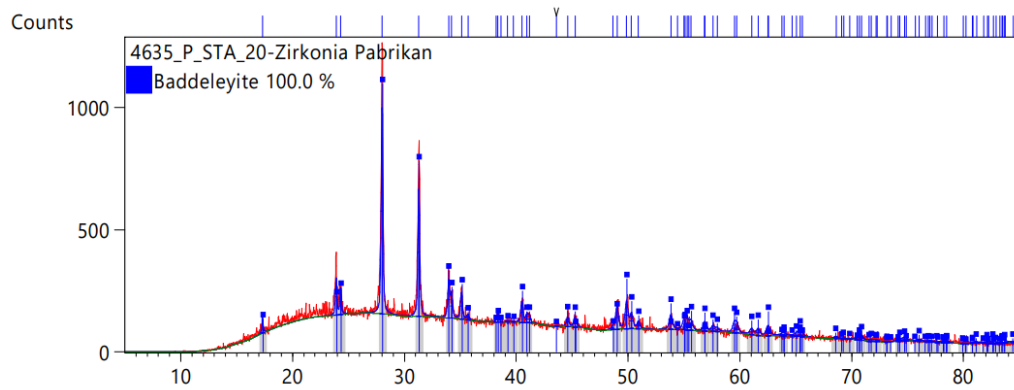
Lampiran 5. ANALISIS INSTRUMEN XRD

Zirkonium sintesis

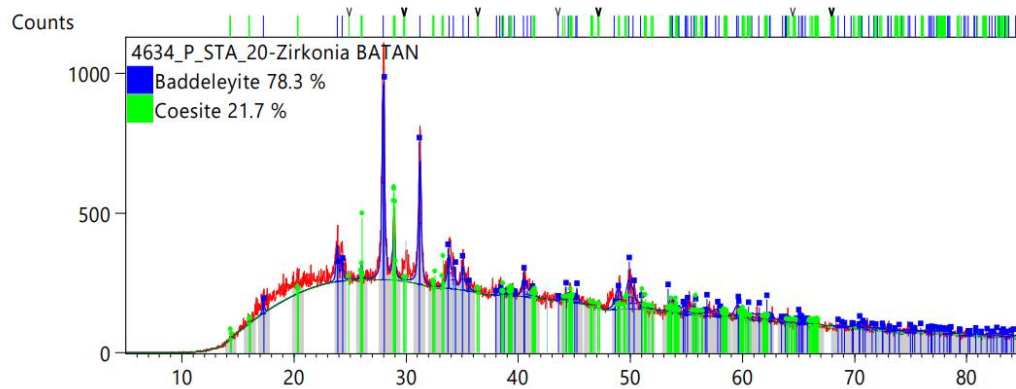
Date: 12/12/2020 Time: 9:25:11 AM File: 4575_P_STA_20-Zirkonia User: Dell



Zirkonium MERCK



Zirkonium Batan



Lampiran 6. ANALISIS INSTRUMEN LCR METER

Hasil analisis Ytria Stabilizid Zirkonium dengan LCR Meter

Kode Sampel	YSZ	Konduktivitas, (S./cm)
1	98 %mol ZrO ₂ : 2 %mol Y ₂ O ₃	2,1281E-08
2	96 %mol ZrO ₂ : 4 %mol Y ₂ O ₃	2,8327E-08
3	94 %mol ZrO ₂ : 6 %mol Y ₂ O ₃	3,0584E-08
4	92 %mol ZrO ₂ : 8 %mol Y ₂ O ₃	1,0186E-07
5	90 %mol ZrO ₂ : 10 %mol Y ₂ O ₃	1,8260E-07

Kode Sampel	YSZ	Konduktivitas, (S./cm)
1	98 %mol ZrO ₂ Merck : 2 %mol Y ₂ O ₃ Merck	1,3074E-08
2	96 %mol ZrO ₂ Merck : 4 %mol Y ₂ O ₃ Merck	2,1807E-08
3	94 %mol ZrO ₂ Merck : 6 %mol Y ₂ O ₃ Merck	2,6552E-07
4	92 %mol ZrO ₂ Merck : 8 %mol Y ₂ O ₃ Merck	8,9970E-07
5	90 %mol ZrO ₂ Merck : 10 %mol Y ₂ O ₃ Merck	1,1625E-06